

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre  
Engenharia de Minas e Geo-Ambiente  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

# CONTRIBUTO DA ESTATÍSTICA CIRCULAR NO ESTUDO (DIREÇÃO E INCLINAÇÃO) DE PLANOS E LINHAS DE ESTRUTURAS GEOLÓGICAS

Alberto João Lucas Silva Barros

**Orientador:** Professor Dr. Joaquim Eduardo Sousa Góis (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

**Coorientador:** Professor Dr. José Feliciano Rodrigues (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

**Arguente:** Professora Dra. Maria Teresa Albuquerque (Instituto Politécnico de Castelo Branco)

**Presidente do Júri:** Professor Dr. José Soeiro de Carvalho (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

---

2016



---

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt) ISN: 3599\*654



Telefone: +351 22 508 14 00



Fax: +351 22 508 14 40



URL: <http://www.fe.up.pt>



Correio Eletrónico: [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

**MESTRADO EM ENGENHARIA DE MINAS E GEO-AMBIENTE 2015/2016**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

Tel. +351-22-508 196

Fax +351-22-508 1448

Editado por

**FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO**

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

URL: <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente - 2015/2016- Departamento de Engenharia de Minas e Geo-Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2016.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

## RESUMO

A geologia e a estatística, a última na vertente circular, apesar de serem duas ciências importantes raramente surgem associadas. O presente trabalho pretende ilustrar o contributo da aplicação da estatística circular a dados geológicos de campo (zona nordeste de Portugal) e a relação dos resultados estatísticos obtidos, com a direção/inclinação das estruturas geológicas regionais das diferentes fases de deformação dúctil varisca.

Para isso, efetuou-se um estudo estatístico intensivo sobre os dados geológicos que envolveu a determinação dos estatísticos básicos circulares e a aplicação de testes de ajustamento provenientes da estatística circular. Este estudo permitiu, no final, correlacionar os resultados obtidos com o modelo geológico estrutural definido para a região analisada, atribuir um significado geológico estrutural a alguns dos indicadores estatísticos determinados e concluir que é possível complementar/validar/enriquecer, através desta abordagem, o modelo geológico interpretativo previamente definido.

**Palavras-chave:** estatística circular, geologia, estruturas geológicas, dados de campo.



## ABSTRACT

Geology and Statistics, the last one in circular dimension, are two important sciences although they rarely appear associated. The present work intends to illustrate the contribution of circular statistics when applied in field geological data (northeast zone of Portugal) and the relationship between the obtained statistical results with the direction/inclination of the regional geological structures of the distinct variscan ductile deformation phases.

In order to achieve this, the geological data were subjected to an intensive statistical study which involved the determination of basic circular statistics and the application of adjustment tests derived of circular statistics. Finally this study allowed to correlate the obtained results with the structural geological model defined for the analyzed region, assign a structural geological meaning to some of the determined statistical indicators and conclude that through this approach it is possible to complement/validate/enrich the previously defined interpretative geological model.

**Keywords:** circular statistics; geology; geological structures; field data.



## **AGRADECIMENTOS**

No culminar deste árduo trabalho quero agradecer de forma particular as pessoas que enumero de seguida, e sem as quais, o mesmo não teria sido possível:

Primeiramente aos meus pais não só pela educação e apoio incondicional que me deram ao longo de toda a minha vida mas também pelo esforço e capacidade de superação que demonstraram nos momentos mais difíceis da minha infância.

Ao meu irmão, que tanto valoriza o tempo que passamos juntos e a quem peço desculpa pela minha ausência nos últimos meses.

Aos meus avós, pela preocupação e encorajamento que manifestaram por diversas vezes ao longo deste trabalho.

À Ana, por todos os dias de aulas, pelos trabalhos em grupo, pelas longuíssimas sessões de estudo para os exames, pelas palavras carinhosas e de encorajamento e por todo o acompanhamento que me proporcionou ao longo do mestrado que agora terminamos.

Ao Pedro Romariz, por ter sido o meu primeiro amigo na faculdade e que daí para a frente partilhou comigo todos os conhecimentos, os trabalhos, o estudo e respetivos exames ao longo de toda a licenciatura.

Ao Professor Doutor e Orientador Joaquim Góis, pela disponibilidade que demonstrou em me receber mesmo com a agenda sempre preenchida e também pela compreensão e motivação, sem as quais este trabalho não teria sido finalizado.

Ao Professor Doutor e Coorientador José Feliciano Rodrigues, pela disponibilidade que demonstrou em corrigir e acompanhar os meus avanços no trabalho mesmo tendo em mãos um projeto de enorme importância e complexidade. E, acima de tudo, pela preocupação em reunir-se comigo nas suas curtas estadias em Portugal.





## ÍNDICE

### PARTE 1

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	Objetivos gerais .....	1
1.2	Metodologia.....	1
2	ENQUADRAMENTO .....	3
2.1	Enquadramento Geográfico .....	3
2.2	Enquadramento Geológico e Estrutural .....	4
3	DADOS OBJETO DO TRATAMENTO .....	11
3.1	Método de obtenção e conceitos envolvidos.....	11
3.2	Organização dos dados e tipos de estruturas presentes .....	13
3.2.1	Foliações Metamórficas ( $S_1$ , $S_2$ ).....	14
3.2.2	Estruturas lineares (eixos de dobras, lineações de interseção e lineações minerais/estiramento).....	14

### PARTE 2

4	ESTATÍSTICA CIRCULAR .....	19
4.1	Estado da Arte .....	19
4.2	Abordagem Conceptual.....	20
4.3	Medida de associação de variáveis .....	22
4.4	Modelos de distribuição probabilística.....	24
4.5	Testes de ajustamento .....	26
5	TRATAMENTO DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	31
5.1	Tratamento dos dados .....	31
5.2	Discussão dos resultados – Estatísticos Básicos.....	35
5.3	Discussão dos Resultados – Testes de Ajustamento.....	61
5.4	Coeficiente de correlação circular-circular entre as estruturas analisadas .....	69
6	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS .....	71
6.1	Conclusões .....	71
6.2	Perspetivas Futuras .....	72
7	BIBLIOGRAFIA .....	75



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Os dados estruturais que servem de base ao presente estudo foram recolhidos na área limitada a verde (adap. Rodrigues, 2008).....	3
<b>Figura 2:</b> Vista do vg Casinha para NE (Ratiço, Murça) (foto retirada de Rodrigues, 2008). As elevações que se destacam na paisagem são relevos residuais resistentes onde sobressaem as litologias quartzíticas e o modelado ondulado da base desses relevos proeminentes corresponde a litologias xistentas.....	4
<b>Figura 3:</b> A cinzento representa-se a extensão das unidades geológicas envolvidas no ciclo de Wilson varisco. A cor cinzenta mais escura marca a extensão geográfica do MI (adap. Rodrigues, 2008).....	4
<b>Figura 4:</b> Anatomia geral de um orógeno colisional (imagem retirada de Moores e Twiis, 1995).....	6
<b>Figura 5:</b> Simetria estrutural no MI (retirado de Matte, 1991). Nesta figura, por orientação do corte não está representada a ZCI. No entanto, para efeitos do exposto no texto, é perfeitamente visível a simetria bilateral da cadeia varisca no MI.....	6
<b>Figura 6:</b> Mantos de carreamento na ZGTM (adap. Rodrigues, 2008).....	8
<b>Figura 7:</b> Esquema de organização interna do CMP na área em estudo (adap. Rodrigues, 2008).....	9
<b>Figura 8:</b> Bússola do tipo Silva (adap. Coe et al., 2010).....	11
<b>Figura 9:</b> Elementos geométricos de um plano, fundamentais para a determinação da sua orientação (atitude) espacial (Zimbres, 2008).....	12
<b>Figura 10:</b> Orientação espacial em estruturas geológicas lineares (Pinotti e Carneiro, 2013).....	13
<b>Figura 11:</b> Dados no software Excel.....	13
<b>Figura 12:</b> Lineações de interseção visíveis nos planos de foliação (Fossen, 2010).....	15
<b>Figura 13:</b> Lineação de interseção entre a clivagem de fratura da deformação de 1ª fase (linha vermelha) e os planos de estratificação (linha verde) (Rodrigues, 2008).....	16

<b>Figura 14:</b> Eixos de dobras (Carneiro et al., 2014).....	16
<b>Figura 15:</b> Modelo geral de orientação dos eixos: a) cisalhamentos em que $S_1$ apresenta dobras progressivamente mais achatadas e de eixos curvos; b) $S_2$ é o plano axial de uma crenulação subordinada a planos de cisalhamento (Rodrigues, 2008).....	17
<b>Figura 16:</b> Dobra de eixo curvo em lidito da Fm Xistos Superiores. A linha representa a orientação da lineação mineral (adap. Rodrigues, 2008).....	18
<b>Figura 17:</b> Representação de dados circulares (adap. Barbosa, 2013).....	20
<b>Figura 18:</b> Representação gráfica de dados com variâncias circulares distintas (adap. Barbosa, 2013).....	21
<b>Figura 19:</b> Representação gráfica de um intervalo de confiança de 95% (adap. Barbosa, 2013).....	22
<b>Figura 20:</b> Representação gráfica de dados com forte coeficiente de correlação circular-circular (adap. Barbosa, 2013).....	23
<b>Figura 21:</b> Representação gráfica de dados com fraco coeficiente de correlação circular-circular (adap. Barbosa, 2013).....	24
<b>Figura 22:</b> Representação gráfica de uma distribuição uniforme de dados circulares (adap. Barbosa, 2013).....	25
<b>Figura 23:</b> Representações gráficas da distribuição de von-Mises com parâmetros distintos (adap. Barbosa, 2013).....	26
<b>Figura 24:</b> Representação gráfica de resultados distintos para o Teste de Rayleigh (adap. Barbosa, 2013).....	27
<b>Figura 25:</b> Representação gráfica de um teste de Watson com rejeição da hipótese nula ( $H_0$ ) (adap. Barbosa, 2013).....	28
<b>Figura 26:</b> Representações gráficas de dados com resultados distintos no teste de espaçamento de Rao (adap. Barbosa, 2013).....	29
<b>Figura 27:</b> Representação gráfica de resultados distintos no teste de Kuiper (adap. Barbosa, 2013).....	30
<b>Figura 28:</b> Diagramas de roseta das variáveis direção e inclinação de $S_2$ no setor de Avidagos.....	32
<b>Figura 29:</b> Ilustração dos diagramas de roseta da direção de $S_2$ em todos os setores.....	33

<b>Figura 30:</b> Sucessão de estádios de deformação devido a um processo progressivo de cisalhamento simples. Os eixos sofrem uma evidente rotação ao longo do processo (deformação não-coaxial) existindo apenas uma direção que se mantém constante e não sofre rotação, a direção do plano de cisalhamento. (adap. Rodrigues, 2008).....	38
<b>Figura 31:</b> Sucessivas posições (1,2 e 3) das estruturas finitas planares devido à reorientação causada por cisalhamento simples (Rodrigues, 2008).....	40
<b>Figura 32:</b> Representação gráfica da variável direção de $S_2$ em todos os setores.....	41
<b>Figura 33:</b> Representação gráfica da variável inclinação de $S_2$ em todos os setores.....	42
<b>Figura 34:</b> Dobras em bainha ou dobras de eixo curvo em filitos listrados da Unidade de Curros. Afloramento a cerca de 1 km a SO da povoação de Palorca. (adap. Rodrigues, 2008).....	45
<b>Figura 35:</b> Esquema de afloramento que ilustra o modelo geral da orientação dos eixos $e_2$ : cisalhamentos mesoscópicos que mostram dobramentos progressivamente mais achatados e de eixos curvos (adap. Rodrigues, 2008).....	46
<b>Figura 36:</b> Seções elíticas de dobras tubulares em liditos da Unidade de Ferrado provocadas pela atuação dominante da componente de cisalhamento simples (adap. Rodrigues, 2008).....	46
<b>Figura 37:</b> Representação gráfica da variável direção de $e_2$ em todos os setores.....	47
<b>Figura 38:</b> Representação gráfica da variável inclinação de $e_2$ em todos os setores.....	48
<b>Figura 39:</b> Aspeto progressivo e rotacional (1,2 e 3) associado à evolução das dobras da 2ª fase de deformação em liditos da Fm dos Xistos Superiores (adap. Rodrigues, 2008).....	51
<b>Figura 40:</b> Dobramento de 2ª fase bastante desenvolvido, como comprova a sua geometria isoclinal. Afloramento de liditos e filitos cinzentos da Fm dos Xistos Superiores (adap. Rodrigues, 2008).....	52
<b>Figura 41:</b> Representação gráfica da variável direção de $li_2$ em todos os setores.....	53

<b>Figura 42:</b> Representação gráfica da variável inclinação de $l_2$ em todos os setores.....	54
<b>Figura 43:</b> Lineação em quartzo na base do DPS junto ao CPVF. Direção do cisalhamento de topo para ESE. Afloramento de quartzitos milonitizados da Fm dos Quartzitos Superiores (adap. Rodrigues, 2008)....	57
<b>Figura 44:</b> Ortoquartzito milonitizado junto ao CPVF. Os planos C' indicam movimento de topo para SE na foliação. Fm dos Quartzitos Superiores, Castro de Palheiros, Murça. (adap. Rodrigues, 2008).....	58
<b>Figura 45:</b> Representação gráfica da variável direção de $x_2$ em todos os setores.....	59
<b>Figura 46:</b> Representação gráfica da variável inclinação de $x_2$ em todos os setores.....	60

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Excerto da tabela com os estatísticos básicos da foliação de 2ª fase ( $S_2$ ).....	31
<b>Tabela 2:</b> Excerto da tabela dos testes de ajustamento para a foliação de 2ª fase ( $S_2$ ).....	34
<b>Tabela 3:</b> Estatísticos básicos da foliação de 2ª fase ( $S_2$ ).....	37
<b>Tabela 4:</b> Estatísticos básicos dos eixos de dobra de 2ª fase ( $e_2$ ).....	43
<b>Tabela 5:</b> Estatísticos básicos da lineação de interseção de 2ª fase ( $li_2$ ).....	49
<b>Tabela 6:</b> Estatísticos básicos da lineação mineral/estiramento de 2ª fase ( $x_2$ ).....	55
<b>Tabela 7:</b> Resposta aos testes de ajustamento para $S_2$ .....	62
<b>Tabela 8:</b> Resposta aos testes de ajustamento para $e_2$ .....	64
<b>Tabela 9:</b> Resposta aos testes de ajustamento para $li_2$ .....	66
<b>Tabela 10:</b> Resposta aos testes de ajustamento para $x_2$ .....	68
<b>Tabela 11:</b> Matriz de correlações circular-circular entre as diferentes estruturas analisadas.....	70





## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Estatísticos básicos da foliação de 1ª fase ( $S_1$ ).....	A-1
<b>Anexo 2:</b> Estatísticos básicos da lineação de interseção de 1ª fase ( $li_1$ ).....	A-2
<b>Anexo 3:</b> Estatísticos básicos da lineação mineral/estiramento de 1ª fase ( $x_1$ ).....	A-3
<b>Anexo 4:</b> Estatísticos básicos do eixo de dobra de 3ª fase ( $e_3$ ).....	A-4
<b>Anexo 5:</b> Representação gráfica da variável direção de $S_1$ em todos os setores.....	A-5
<b>Anexo 6:</b> Representação gráfica da variável inclinação de $S_1$ em todos os setores.....	A-6
<b>Anexo 7:</b> Representação gráfica da variável direção de $li_1$ em todos os setores.....	A-7
<b>Anexo 8:</b> Representação gráfica da variável inclinação de $li_1$ em todos os setores.....	A-8
<b>Anexo 9:</b> Representação gráfica da variável direção de $x_1$ em todos os setores.....	A-9
<b>Anexo 10:</b> Representação gráfica da variável inclinação de $x_1$ em todos os setores.....	A-10
<b>Anexo 11:</b> Representação gráfica da variável direção de $S_3$ em todos os setores.....	A-11
<b>Anexo 12:</b> Representação gráfica da variável inclinação de $S_3$ em todos os setores.....	A-12
<b>Anexo 13:</b> Representação gráfica da variável direção de $e_3$ em todos os setores.....	A-13
<b>Anexo 14:</b> Representação gráfica da variável inclinação de $e_3$ em todos os setores.....	A-14

<b>Anexo 15:</b> Representação gráfica da variável direção de $li_3$ em todos os setores.....	A-15
<b>Anexo 16:</b> Representação gráfica da variável inclinação de $li_3$ em todos os setores.....	A-16
<b>Anexo 17:</b> Tabela com os resultados dos testes de ajustamento aos dados de $S_2$ .....	A-17
<b>Anexo 18:</b> Tabela com os resultados dos testes de ajustamento aos dados de $e_2$ .....	A-18
<b>Anexo 19:</b> Tabela com os resultados dos testes de ajustamento aos dados de $li_2$ .....	A-19
<b>Anexo 20:</b> Tabela com os resultados dos testes de ajustamento aos dados de $x_2$ .....	A-20
<b>Anexo 21:</b> Tabela com os resultados dos testes de ajustamento aos dados de $S_1$ .....	A-21
<b>Anexo 22:</b> Tabela com os resultados dos testes de ajustamento aos dados de $li_1$ .....	A-22
<b>Anexo 23:</b> Tabela com os resultados dos testes de ajustamento aos dados de $x_1$ .....	A-23
<b>Anexo 24:</b> Tabela com os resultados dos testes de ajustamento aos dados de $e_3$ .....	A-24
<b>Anexo 25:</b> Resposta aos testes de ajustamento para $S_1$ .....	A-25
<b>Anexo 26:</b> Resposta aos testes de ajustamento para $li_1$ .....	A-26
<b>Anexo 27:</b> Resposta aos testes de ajustamento para $x_1$ .....	A-27
<b>Anexo 28:</b> Resposta aos testes de ajustamento para $e_3$ .....	A-28

## ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

C' – Plano de movimentação

CAI – Complexo Alóctone Inferior

CAS – Complexo Alóctone Superior

CMP – Complexo de Mantos Parautóctones

CPVF – Carreamento Palheiros-Vila Flor

DPI – Domínio Parautóctone Inferior

DPS – Domínio Parautóctone Superior

E – Este

e<sub>1</sub>, e<sub>2</sub>, e<sub>3</sub> – Eixos de dobra da 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> fases de deformação dúctil varisca

ESE – És- sudeste

Fm – Formação

H<sub>0</sub> – Hipótese Nula

H<sub>1</sub> – Hipótese Alternativa

IGE – Instituto Geográfico do Exército

li<sub>1</sub>, li<sub>2</sub>, li<sub>3</sub> – Lineação de interseção da 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> fases de deformação dúctil varisca.

MI – Maciço Ibérico

MTMT – Carreamento Maior de Trás-os-Montes ou *Main Trás-os-Montes Thrust*

NE – Nordeste

NNE – Nor-nordeste

NNO – Nor-noroeste

NO – Noroeste

O – Oeste

ONO – Oés-noroeste

S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> – Foliação da 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> fases de deformação dúctil varisca

SE – Sudeste

SO – Sudoeste

SZGTM – Subzona Galiza Trás-os-Montes

vg – Vértice Geodésico

x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>, x<sub>3</sub> – Lineação mineral/estiramento da 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> fases de deformação dúctil varisca.

ZAOL – Zona Asturocidental Leonesa

ZC – Zona Cantábrica

ZCI – Zona Centro Ibérica

ZGTM – Zona Galiza- Trás-os-Montes

ZOM – Zona de Ossa Morena

ZSP – Zona Sul Portuguesa

# **PARTE 1**



# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 Objetivos gerais**

O texto que agora se apresenta consubstancia a tese de mestrado em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e na qual se procura estudar, o contributo da estatística circular no estudo de planos e linhas de estruturas geológicas.

O estudo agora encetado, dá particular relevância à direção e à inclinação, revestindo-se de grande importância no enquadramento e interpretação do modelo geológico de uma determinada região (atributos que constituirão as variáveis em estudo). Atendendo à natureza particular das variáveis envolvidas é imperativo considerar a utilização e contribuição da estatística circular no estudo da variabilidade espacial da direção e da inclinação dos planos e linhas de estruturas geológicas.

Pretende-se, assim, com recurso a um caso de estudo, ilustrar as potencialidades desta ferramenta estatística no complemento à análise das estruturas geológicas de uma região específica.

## **1.2 Metodologia**

A metodologia seguida procura, sobre os dados geológicos recolhidos em diferentes locais no campo e atendendo a indicadores e testes estatísticos, não só caracterizar e destacar os padrões de distribuição dos dados mas também relacionar os mesmos com as interpretações geológicas atribuídas à região em estudo.

Do esquema metodológico geral elaborado para a prossecução deste trabalho destacam-se fundamentalmente três etapas que, evoluindo de forma sequencial, concorrem para a satisfação dos objetivos anteriormente definidos, assim:

- Numa primeira fase procede-se ao enquadramento geográfico e geológico da zona em estudo e ainda à descrição dos dados geológicos que permitiram a realização deste trabalho.

- Numa segunda fase, após uma breve referência conceptual à estatística circular, implementam-se os indicadores e testes de hipótese suscetíveis de reproduzirem e evidenciarem parte das interpretações geológicas da zona em estudo.
- Finalmente, procura-se relacionar os resultados obtidos pela estatística circular com as interpretações decorrentes do modelo geológico estrutural (Rodrigues, 2008) aceite para a região abordada.

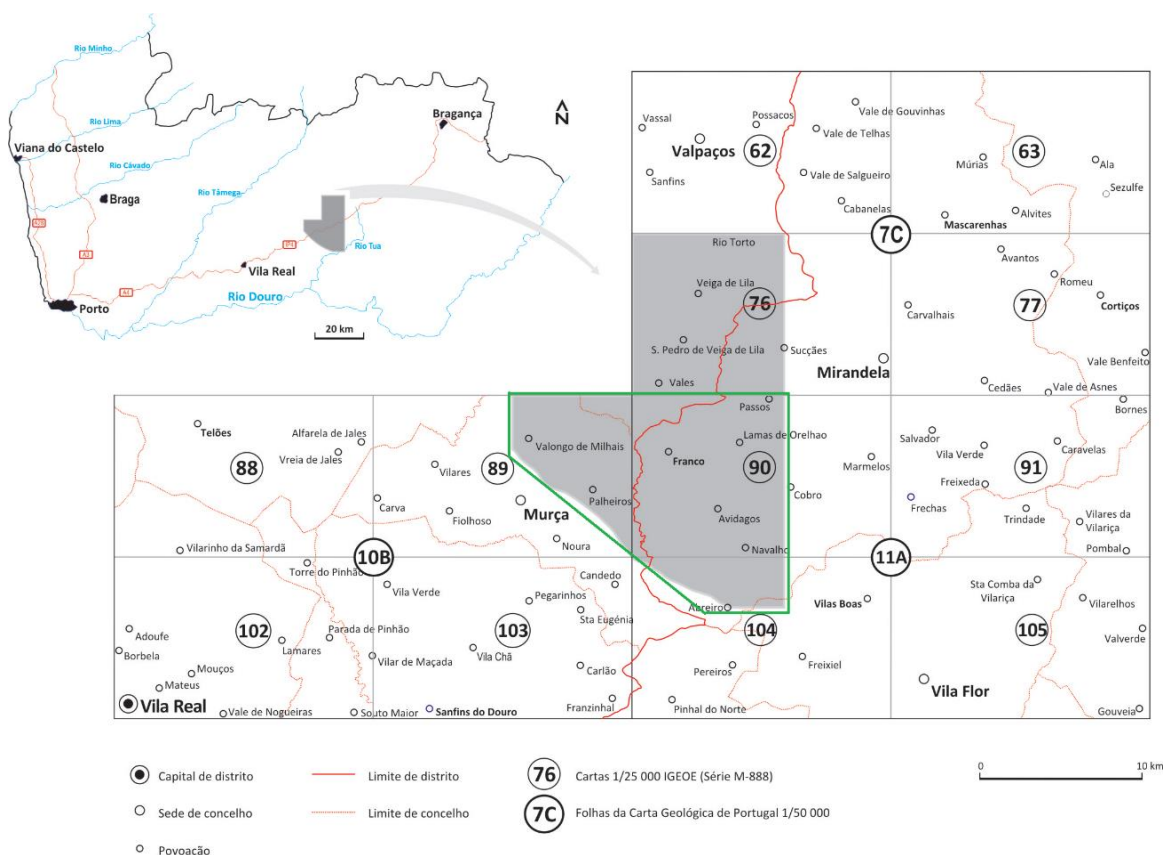
Em resumo e tendo em vista a definição dos objetivos gerais, poder-se-á afirmar que este estudo foi encarado sob a perspetiva de estabelecer uma ponte de ligação entre a estatística circular, nomeadamente com base nos seus indicadores e testes de hipótese, os dados de campo que permitem “alimentar” os tratamentos estatísticos e o modelo geológico estrutural de uma determinada região.



## 2 ENQUADRAMENTO

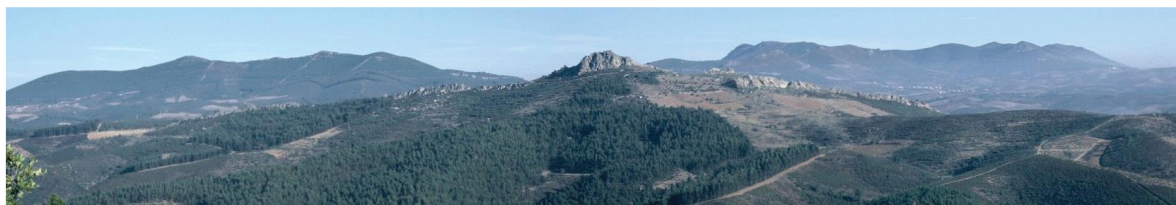
### 2.1 Enquadramento Geográfico

O estudo estatístico de dados geológicos que está na base desta tese, diz respeito ao tratamento de dados geológicos obtidos numa área situada entre os centros populacionais de Murça, Valpaços, Mirandela e Vila Flor. Esta área, limitada a verde na Figura 1, corresponde a uma porção da área onde incidiu o estudo geológico estrutural elaborado por Rodrigues (Rodrigues, 2008).



**Figura 1:** Os dados estruturais que servem de base ao presente estudo foram recolhidos na área limitada a verde (adap. Rodrigues, 2008).

A morfologia regional da zona apresenta um relacionamento entre as principais formas do relevo e a natureza litológica do substrato que suporta a paisagem (Figura 2). Não descurando a sua diversidade são de destacar como traços principais, o modelado ondulado do substrato xistento filitoso e os importantes relevos residuais constituídos por rochas quartzíticas (Rodrigues, 2008).



**Figura 2:** Vista do vértice geodésico (vg) Casinha para NE (Ratiço, Murça) (foto retirada de Rodrigues, 2008). As elevações que se destacam na paisagem são relevos residuais resistentes onde sobressaem as litologias quartzíticas e o modelado ondulado da base desses relevos proeminentes corresponde a litologias xistentas.

## 2.2 Enquadramento Geológico e Estrutural

Os dados geológico estruturais que são estudados nesta tese foram recolhidos numa região de elevada complexidade estrutural que, segundo o autor que os recolheu, “apresenta um conjunto de unidades geológicas e uma arquitetura estrutural que se estendem muito para além dos seus limites geográficos” (Rodrigues, 2008). Assim, surgiu a necessidade de efetuar o enquadramento num contexto geológico muito mais vasto - o Maciço Ibérico (MI). Este maciço é composto por um extenso conjunto de afloramentos de rochas de idade proterozóica e paleozóica praticamente contínuos na metade ocidental da Península Ibérica (e.g. Lotze, 1945; Ribeiro *et al.*, 1979) (Figura 3).



**Figura 3:** A cinzento representa-se a extensão das unidades geológicas envolvidas no ciclo de Wilson varisco. A cor cinzenta mais escura marca a extensão geográfica do MI (adap. Rodrigues, 2008).

As rochas referidas anteriormente, possuem uma história geológica complexa sendo possível interpretar diversos episódios geodinâmicos de primeira importância distribuídos por mais do que um ciclo de Wilson (Dias *et al.*, 2014).

O ciclo varisco possui a melhor representação apresentando um vasto conjunto de unidades e uma estruturação pronunciada que por vezes transpõe completamente as estruturas anteriores tornando o MI um dos mais importantes segmentos da cadeia varisca na Europa Ocidental (Ribeiro *et al.*, 1979).

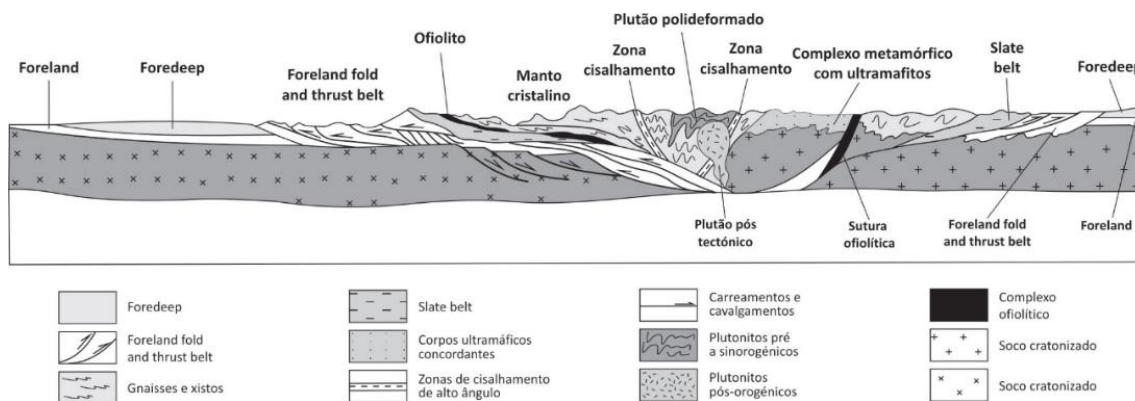
O MI corresponde a uma cadeia de montanhas arrasada pela erosão que, de acordo com os modelos geodinâmicos mais amplamente aceites, pode ser explicada com base na colisão de duas grandes massas continentais na sequência do fecho de várias bacias oceânicas durante o Paleozóico final (e.g. Matte, 1991; Rodrigues, 2008).

Interpretada como um orógeno colisional, esta cadeia tem sido estudada de forma analítica, principalmente com recurso a estudos de terreno, permitindo individualizar ao longo da mesma grandes setores com características geológicas constantes e distintas dos domínios adjacentes.

Tratam-se das conhecidas zonas de Lotze (Lotze, 1945) para o MI, com reformulação mais recente por definição da Zona Galiza – Trás-os-Montes (ZGTM) (e.g. Pereira e Ribeiro, 1983; Marquínez, 1984; Farias e Marquínez, 1986; Farias, 1987; Pereira, 1987), a saber:

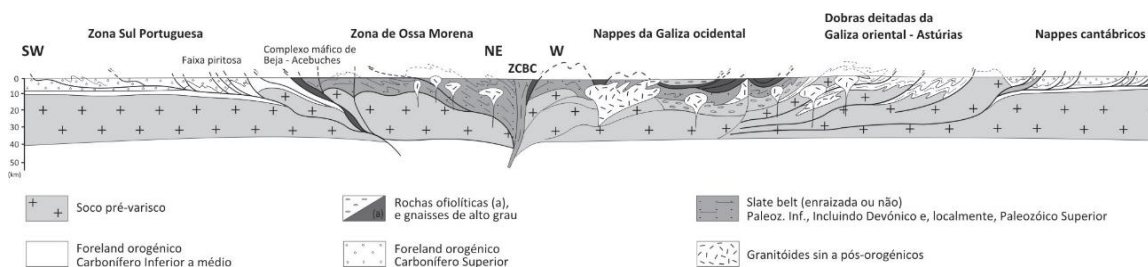
- Zona Cantábrica (ZC);
- Zona Asturocidental Leonesa (ZAOL);
- Zona Galiza – Trás-os-Montes (ZGTM);
- Zona Centro-Ibérica (ZCI);
- Zona de Ossa Morena (ZOM);
- Zona Sul Portuguesa (ZSP).

Os domínios referidos anteriormente, definidos principalmente através da estratigrafia, da estrutura, do metamorfismo, do magmatismo e da metalogenia, podem ser interpretados com base em esquemas de zonalidade orogénica como o de Moores e Twiss (1995) (Figura 4).



**Figura 4:** Anatomia geral de um orógeno colisional (imagem retirada de Moores e Twiss, 1995).

Atente-se às similitudes entre a figura anterior e a seguinte que representa uma interpretação geral da arquitectura do MI (Rodrigues, 2008).



**Figura 5:** Simetria estrutural no MI (retirado de Matte, 1991). Nesta figura, por orientação do corte não está representada a ZCI. No entanto, para efeitos do exposto no texto, é perfeitamente visível a simetria bilateral da cadeia varisca no MI.

Nas figuras anteriores, pode destacar-se uma diferenciação de 1ª ordem em zonas internas e externas do orógeno que se apresentam repartidas de forma simétrica relativamente a uma zona central axial. Esta simetria, apesar de apenas ser válida em termos gerais devido às diversas exceções regionais, está presente na zonalidade do MI (Rodrigues, 2008).

As ZC e ZSP, respetivamente a NE e a SO do hinterland orogénico constituem as zonas externas do orógeno enquanto a parte interna do mesmo é constituída pelas ZAOL, ZGTM, ZCI e ZOM estando as ZAOL e a ZOM de cada um dos lados da faixa central do orógeno e a ZCI, respetivamente a NE e SO (Rodrigues, 2008).

A ZGTM constitui uma zona muito particular sendo interpretada como um vasto conjunto de unidades alóctones, designadas no seu conjunto por mantos de carreamento do NO peninsular e que se sobrepõem, por tectónica tangencial, à ZCI.

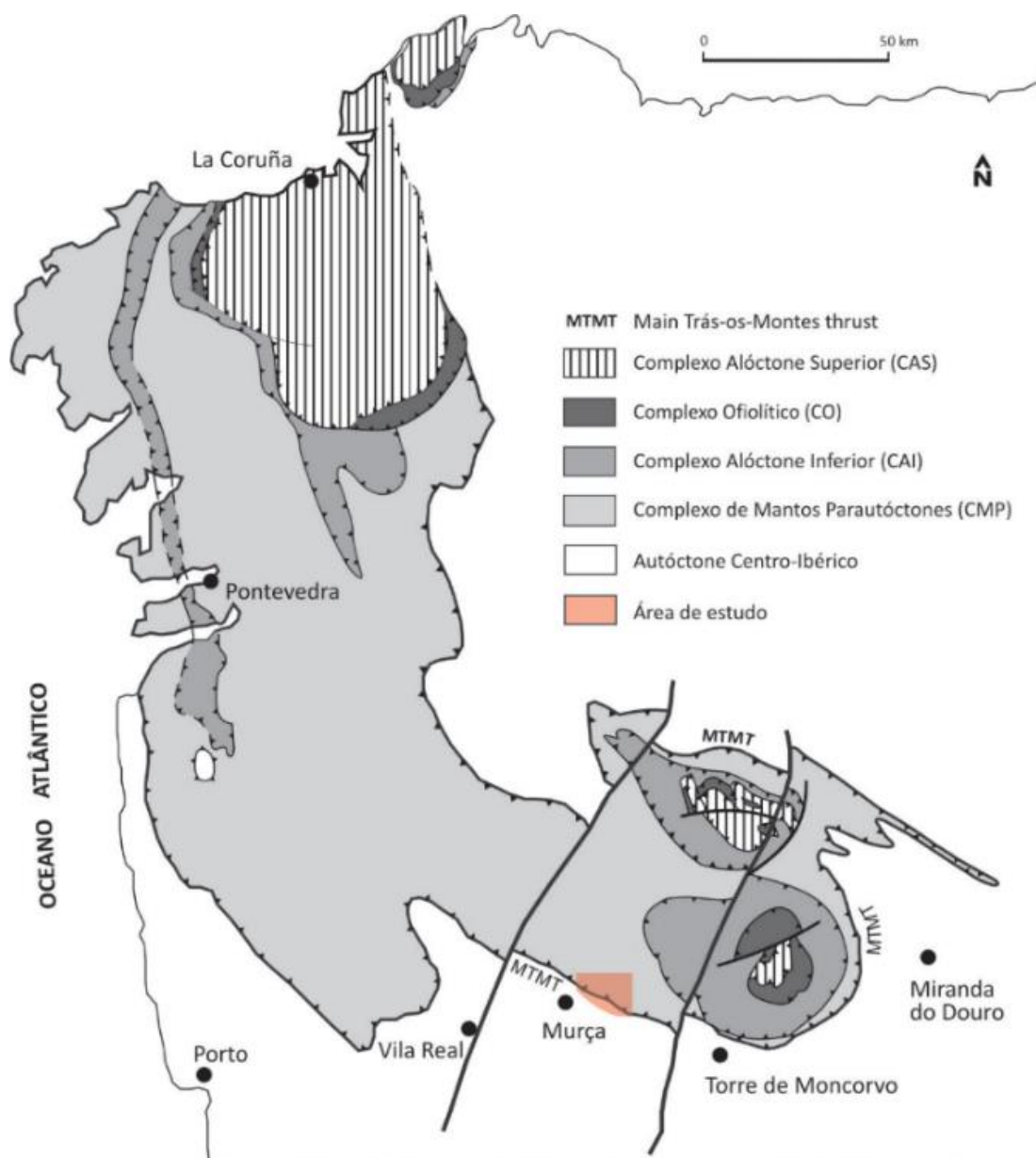
De acordo com Rodrigues (Rodrigues, 2008), esta vasta extensão de mantos de carreamento está na base das principais modificações à zonalidade original do MI, nomeadamente, quando Ribeiro (Ribeiro, 1974), (Ribeiro *et al.*, 1979) com base em critérios estruturais e tectónicos destacou um importante domínio denominado Subzona Galiza Média- Trás-os-Montes (SZGTM) que permitiu em trabalhos posteriores definir uma nova zona paleogeográfica designada por Zona Galiza-Trás-os-Montes (ZGTM).

A ZGTM corresponde ao conjunto de todos os mantos carregados sobre as unidades autóctones da ZCI (Rodrigues, 2008) (Figura 6). Detalhadamente, esta zona engloba as seguintes unidades:

- Complexo Alóctone Superior (CAS);
- Complexo Ofiolítico;
- Complexo Alóctone Inferior (CAI);
- Autóctone Centro-Ibérico;
- Complexo de Mantos Parautóctones (CMP).

A área que diz respeito a este trabalho, encontra-se contida no CMP sendo, por isso, importante destacar apenas esta unidade. Gallastegui *et al.* (1988) descreve esta unidade como um conjunto constituído principalmente por meta-sedimentos silicicláticos (filitos, metagrauvaques, quartzitos), ocasionalmente com componente ortoquímica (chertes), intercalados com esparsos níveis de vulcanitos predominantemente félsicos.

Segundo Ribeiro (Ribeiro *et al.*, 1990), a designação parautóctone delimita as características do seu conteúdo geológico englobando o conjunto de unidades carregadas de baixo grau metamórfico com afinidades paleogeográficas com o substrato autóctone, estando separadas deste último por uma superfície de carreamento de extensão regional designada por MTMT ( “*Main Trás-os-Montes Thrust*” ou Carreamento Maior de Trás-os-Montes).



**Figura 6:** Mantos de carreamento na ZGTM (adap. Rodrigues, 2008).

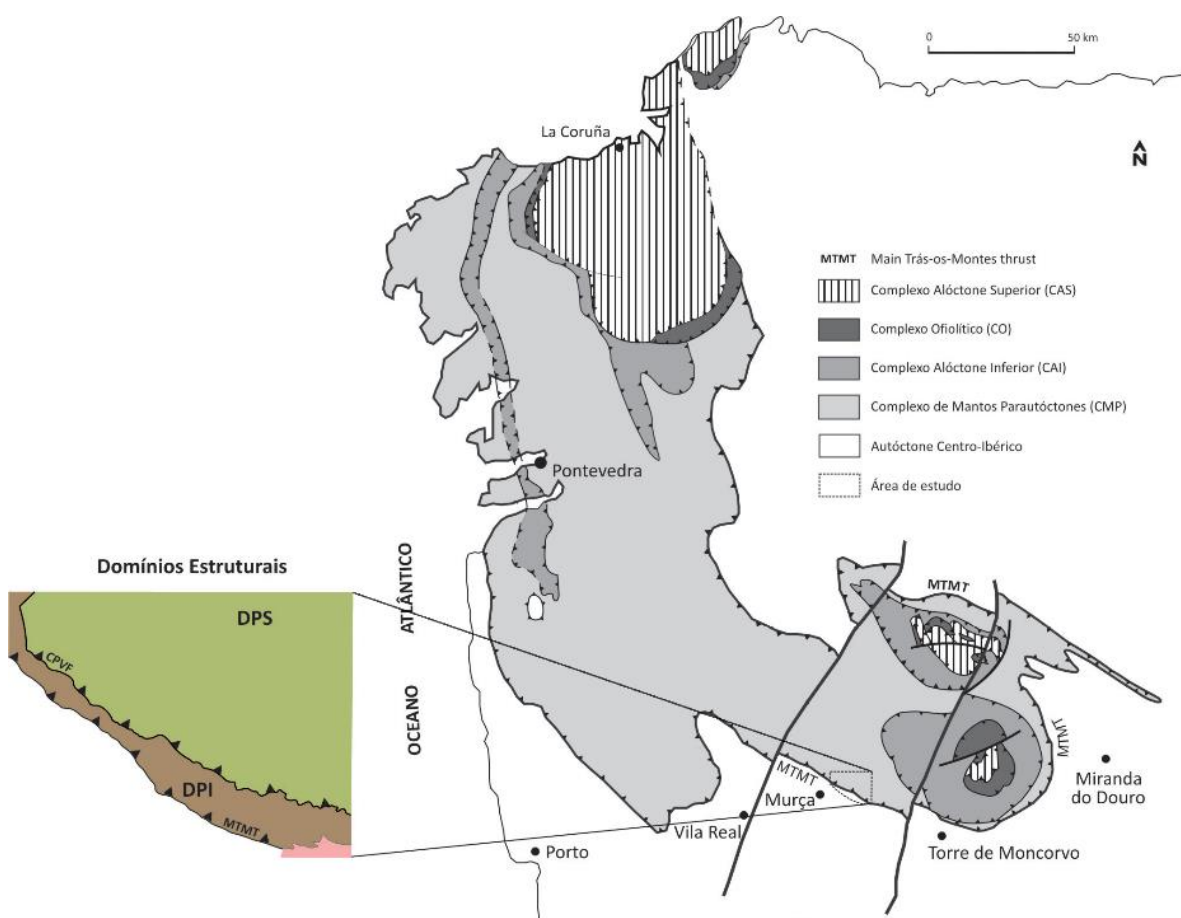
De acordo com Rodrigues (Rodrigues, 2008), “no interior do CMP têm sido reconhecidos e cartografados vários acidentes com cinemática tangencial e, por vezes, grande extensão aflorante” permitindo no estudo da estratigrafia do CMP propor uma divisão tectonoestratigráfica interna com base nos seguintes critérios:

- Identificação dos principais carreamentos aflorantes na região:
  - “Main Trás-os-Montes Thrust”- MTMT;
  - Carreamento de Palheiros-Vila Flor (CPVF);

- Carreamento de base do CAI.

Estes critérios permitiram assim, propor a seguinte divisão interna para o CMP (Rodrigues, 2008) (Figura 7):

- Domínio Parautóctone Inferior (DPI) ou Complexo Subautóctone- limitado inferiormente pelo MTMT e superiormente pelo CPVF;
- Domínio Parautóctone Superior (DPS)- limitado inferiormente pelo CPVF e superiormente pelo carreamento de base do CAI.



**Figura 7:** Esquema de organização interna do CMP na área em estudo (adap. Rodrigues, 2008).

Em termos de unidades cartografadas presentes na área a que se reporta este estudo, o DPI está definido pela Unidade de Monfebres-Abreiro, pela Unidade de Ferrado e pela Unidade de Curros enquanto o DPS é constituído da base para o topo pelas seguintes formações (Fm): Fm dos Filitos Cinzentos, Fm dos



Quartzitos Superiores, Fm dos Xistos Superiores e Fm dos Xistos e Grauvaques Culinantes (Rodrigues, 2008).



### 3 DADOS OBJETO DO TRATAMENTO

#### 3.1 Método de obtenção e conceitos envolvidos

Os dados utilizados neste presente trabalho, fazem parte dos dados estruturais mesoscópicos da deformação polifásica dúctil varisca, incluídos na Carta Geológica das Serras da Garraia e Santa Comba (Rodrigues, 2008). No entanto, os dados em estudo não correspondem à totalidade dos levantamentos efetuados, visto que não incluem as medições obtidas na folha nº 76 da cartografia do Instituto Geográfico do Exército (IGE) correspondentes à parte superior da carta geológica acima mencionada.

Estes dados foram medidos em afloramento por recurso a uma bússola de geólogo Silva, modelo 15 T (Figura 8). Este tipo de bússola é constituído por um transferidor, um clinómetro e um nível de bolha. O transferidor permite medir ângulos horizontais e encontra-se graduado entre 0° e 360° sendo a sua horizontalidade assegurada pelo nível de bolha. O clinómetro está graduado entre 0° e 90° e possibilita a medição de ângulos verticais (Kullberg e Silva, 1983).



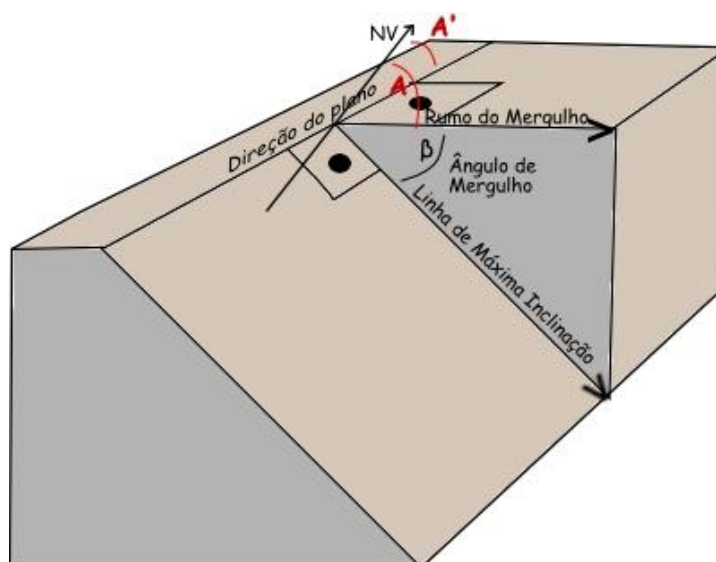
**Figura 8:** Bússola do tipo Silva (adap. Coe *et al.*, 2010).

Este tipo de bússola é frequentemente utilizado na medição das atitudes de estruturas geológicas. A grande maioria das estruturas geológicas podem ser assemelhadas geometricamente a planos e linhas permitindo, portanto, que nos

trabalhos de campo, o registo da sua orientação espacial se resolva através da determinação de atitudes de planos e linhas (Kullberg e Silva, 1983).

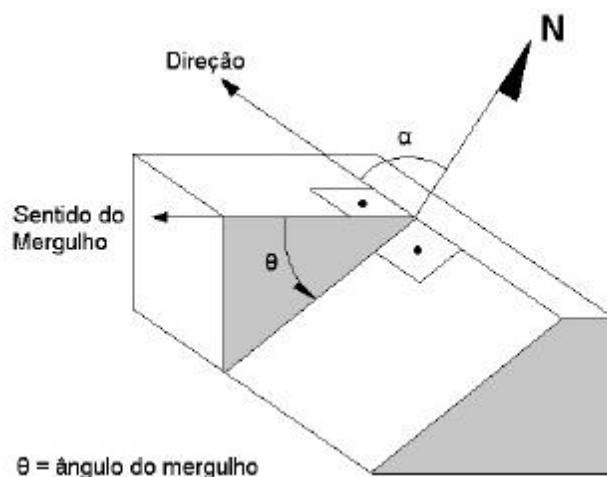
A atitude de um qualquer plano estrutural como por exemplo a estratificação, as falhas, a xistosidade, a clivagem, as fraturas, as diáclases, etc., é composta da direção e inclinação do plano.

A direção define-se medindo o ângulo azimutal da linha horizontal da superfície planar, sendo interpretada como a linha de interseção de um plano horizontal com a superfície planar considerada. A inclinação representa o declive da superfície numa direção perpendicular em relação à direção da superfície considerada (Kullberg e Silva, 1983) (Figura 9).



**Figura 9:** Elementos geométricos de um plano, fundamentais para a determinação da sua orientação (atitude) espacial (Zimbres, 2008).

A atitude de uma estrutura geológica linear (p.ex., eixos de dobras, lineações de interseção, lineações minerais, etc.), é composta por um ângulo de mergulho e o respetivo azimuth. O azimuth de uma linha é o ângulo azimutal da linha horizontal pertencente ao plano vertical que contém a estrutura linear (Figura 10). No caso de estruturas lineares não horizontais, o azimuth indicará para onde mergulha a linha. Por fim, o ângulo de mergulho é o ângulo vertical entre a horizontal e a linha considerada.



**Figura 10:** Orientação espacial em estruturas geológicas lineares (Pinotti e Carneiro, 2013).

### 3.2 Organização dos dados e tipos de estruturas presentes

No presente trabalho, todas as atitudes de linhas e planos são, para melhor ordenamento e tratamento dos dados, organizados no *software Excel* e com o aspeto gráfico seguinte:

			DPI      Sector Milhais - Abreiro Silúrico (Alto da Liceira)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Figura 11:** Dados no *software Excel*.

Nas folhas *Excel* referidas, o primeiro critério de organização é a localização espacial dos dados – Setor geográfico. Considera-se, por vezes, como complemento, a indicação da unidade geológica onde os dados foram recolhidos (p. ex. Fm Silúrico).

Em cada setor, os dados são organizados por tipo de estrutura e fase de deformação varisca. Os tipos estruturais considerados são:

- Foliação – S;
- Lineação de interseção – li;
- Eixos de dobra – e;
- Lineação mineral/estiramento – x.

A cada uma destas siglas acrescenta-se um número que representa a fase de deformação dúctil varisca a que a estrutura se atribui (1ª, 2ª ou 3ª fase de deformação varisca regional).

Por exemplo, S<sub>1</sub> indica a foliação de 1º fase varisca. Cada um destes tipos de estruturas serão, adiante, sempre que se considere oportuno, descritas mais pormenorizadamente.

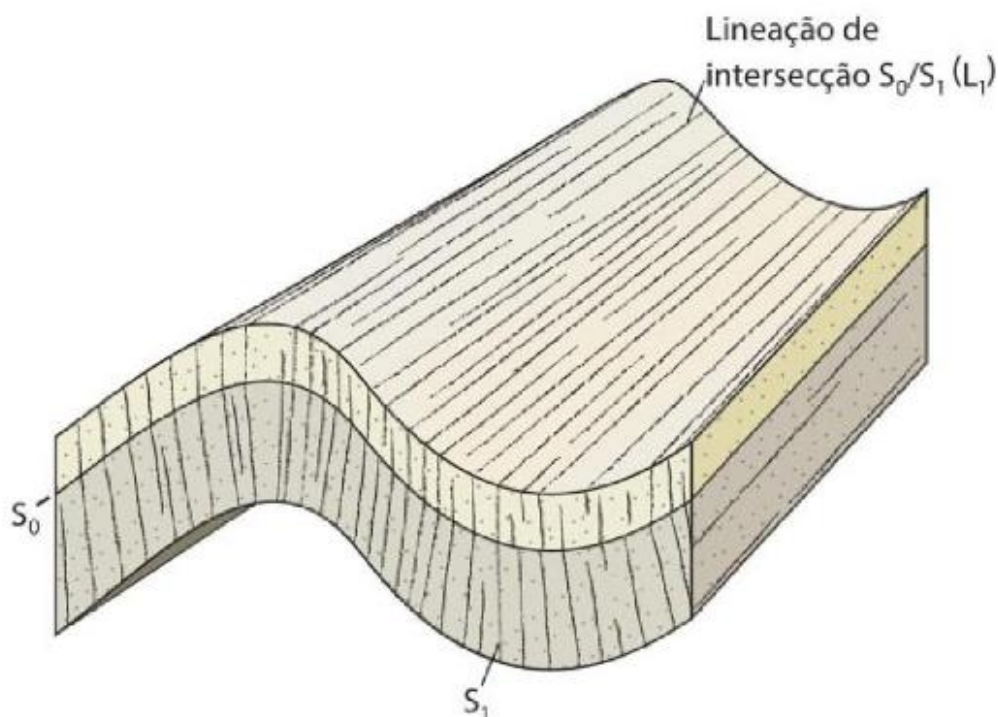
### **3.2.1 Foliações Metamórficas (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>)**

Na área em estudo, a foliação de 1ª fase (S<sub>1</sub>) é, regra geral, uma clivagem xistenta e permite materializar o plano axial das dobras da primeira fase de deformação varisca regional.

A foliação de 2ª fase (S<sub>2</sub>) é, também, uma clivagem de baixo grau metamórfico, e pode confundir-se com a clivagem xistenta referida anteriormente dado que, por vezes, são quase paralelas ou, então, porque as estruturas planares de 1ª fase já estão praticamente transpostas pelas de 2ª fase, situação em que as diferenças angulares originais entre S<sub>1</sub> e S<sub>2</sub> foram praticamente anuladas e, por consequência, as estruturas paralelizadas.

### **3.2.2 Estruturas lineares (eixos de dobras, lineações de interseção e lineações minerais/estiramento)**

A lineação de interseção (li) diz respeito à linha de interseção de estruturas planas de uma rocha (Figura 12). Geralmente, a lineação de interseção está relacionada com o dobramento sendo paralela ao plano axial e à linha de charneira (Fossen, 2010).



**Figura 12:** Lineações de interseção visíveis nos planos de foliação (Fossen, 2010).

Na região em estudo, a lineação de interseção de 1ª fase ( $li_1$ ) é de extrema importância no estudo da orientação das dobras de 1ª fase, visto que, as charneiras mesoscópicas são de extrema raridade (Rodrigues, 2008).

No entanto, o estudo desta lineação, só pode ser realizado, nas formações (Fm dos Quartzitos Superiores) onde o achatamento não transpôs os planos de estratificação permitindo, assim, identificar o desvio angular entre esses planos e o plano de clivagem.

Como estas rochas quartzíticas foram originadas a partir de protólitos areníticos de elevada maturidade mineralógica,  $li_1$  é visto, frequentemente, como uma interseção entre planos ao invés de uma diferença de litologias sobre o plano de  $S_1$  (Rodrigues, 2008) (Figura 13).

Nos locais em estudo afetados pela 2ª fase de deformação encontra-se frequentemente, uma lineação ( $li_2$ ) que representa a interseção da clivagem desta fase ( $S_2$ ) com superfícies planares anteriores:  $S_1$  (caso mais frequente) ou  $S_0$  (caso mais raro) (Rodrigues, 2008).





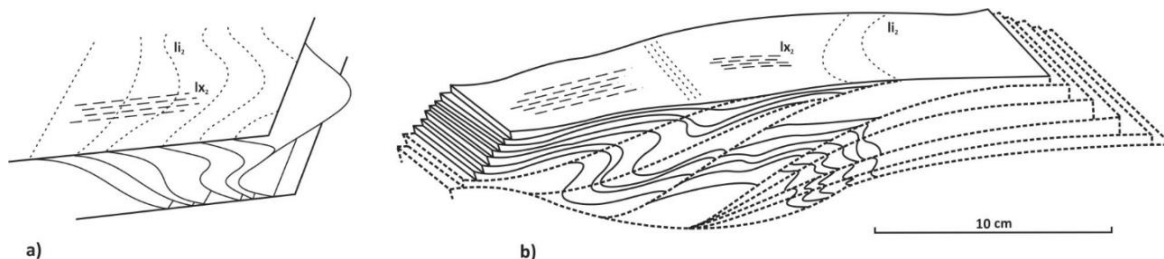
**Figura 13:** Lineação de interseção entre a clivagem de fratura da deformação de 1ª fase (linha vermelha) e os planos de estratificação (linha verde) (Rodrigues, 2008).

Os eixos de dobras (e) são frequentemente considerados como estruturas lineares apesar de apenas representarem linhas teóricas relacionadas com a forma geométrica da superfície dobrada (Fossen, 2010) (Figura 14).

Definição	Esquema
Eixo horizontal	
Eixo inclinado	
Eixo vertical	

**Figura 14:** Eixos de dobras (Carneiro *et al.*, 2014).

Este conceito é corroborado por Rodrigues (Rodrigues, 2008) quando considera que os eixos de dobras correspondem ao aspeto geométrico que torna mais visível a variação da orientação das estruturas nas diferentes fases de deformação (Figura 15).



**Figura 15:** Modelo geral de orientação dos eixos: a) cisalhamentos em que  $S_1$  apresenta dobras progressivamente mais achatadas e de eixos curvos; b)  $S_2$  é o plano axial de uma crenulação subordinada a planos de cisalhamento (Rodrigues, 2008).

A lineação mineral ( $x$ ) caracteriza-se por uma orientação mineralógica, sem estiramento, que gera alinhamentos mineralógicos em rochas pouco metamorfizadas, mas deformadas. Quando o grau de deformação e de metamorfismo aumenta surgem minerais deformados e alongados paralelamente a uma direção gerando alinhamentos que podem indicar uma lineação de estiramento<sup>1</sup>.

Sobre o plano de  $S_1$ , quando esta é penetrativa, mesmo em diferentes litologias, surge com frequência uma lineação expressa por uma fibrosidade mineral ( $x_1$ ). Na área deste trabalho, considera-se que esta fibrosidade pode ser interpretada como o estiramento verdadeiro da rocha e portanto, uma medida da direção principal da deformação finita (Rodrigues, 2008).

Relativamente à 2ª fase de deformação, quando  $S_2$  está desenvolvido de tal modo que traspõe  $S_1$  é possível observar uma fibrosidade ( $x_2$ ) sobre o plano da clivagem (Rodrigues, 2008) (Figura 16). Os estudos deste autor, concluem que esta fibrosidade ou lineação mineral é mais evidente e desenvolvida nas áreas com forte deformação de 2ª fase, principalmente junto aos planos de carreamento, onde  $S_2$  já é uma superfície penetrativa.

<sup>1</sup> Disponível em: <http://www.geologia.ufpr.br/graduacao2/estrutural/Aula9ESTRUTURASPLANARESLINEARES.pdf>  
Acesso em 20 de Maio de 2016.

A orientação preferencial e a recristalização dinâmica associada a estes locais permitem admitir que esta lineação está relacionada com o estiramento associado à segunda fase de deformação (Rodrigues, 2008).



**Figura 16:** Dobra de eixo curvo em lidito da Fm Xistos Superiores. A linha representa a orientação da lineação mineral (adap. Rodrigues, 2008).



# **PARTE 2**



## 4 ESTATÍSTICA CIRCULAR

Tendo em conta a natureza e a especificidade dos conjuntos de dados obtidos no campo, constatou-se que seria inadequado aplicar os tradicionais métodos de análise estatística de dados às variáveis em questão. Este tipo de dados, pertencentes ao domínio da estatística direcional ou circular, são facilmente identificados nos diversos domínios da ciência (Góis, 2002).

### 4.1 Estado da Arte

Scott (Scott, 2002) destaca o contributo da estatística circular nos estudos de Cox e Lewis (Cox e Lewis, 1966) sobre tempos de chegada a uma sala de urgência hospitalar; Emlen (Emlen, 1967) a respeito dos sistemas de navegação das aves migratórias; Johnson e Wehrly (Johnson e Wehrly, 1977) acerca da previsão da concentração de ozono nas cidades através da direção do vento ou os trabalhos de Minors e Waterhouse (Minors e Waterhouse, 1981) quando reflete em relação aos parâmetros corporais (temperatura, tempo de atividade e de descanso e libertação de hormonas) para melhor compreensão do corpo humano.

Pode-se ainda dar ênfase aos trabalhos de Bowers (Bowers *et al.*, 2000), Silva (Silva, 2001) e Shoji (Shoji, 2002) sobre aplicação da estatística circular aos fenómenos naturais; Batschelet (Batschelet, 1981) sobre estatística circular na biologia e Takeshita (Takeshita *et al.*, 2009) com aplicação da estatística circular aos potenciais de ação no campo da neurociência.

A utilização da estatística circular em dados geológicos não é uma novidade absoluta, desde os trabalhos mais antigos desenvolvidos por Krumbein (Krumbein, 1939) sobre as orientações preferenciais dos seixos em depósitos sedimentares aos estudos mais recentes desenvolvidos por Davis (Davis e Sampson, 2002) com as aplicações da estatística a dados geológicos, Sen (Sen e Mamtani, 2006) acerca de orientações em rochas graníticas e por Lark (Lark *et al.*, 2014) com aplicações da estatística circular na modelação de dados geológicos complexos.

Entre as publicações de referência neste campo particular da estatística, destacam-se os contributos de Gaile e Willmott (Gaile e Willmott, 1984), Cressie (Cressie, 1991; 1992), Fisher (Fisher, 1993), Mardia (Mardia, 2000), Jammalamadaka e Sengupta (Jammalamadaka e Sengupta, 2001), Davis (Davis, 2002) e Sá (Sá, 2003).

## 4.2 Abordagem Conceptual

Segundo Sá (Sá, 2003), os dados direcionais são analisados com recurso ao comprimento do vetor unitário e através da sua representação num círculo de raio unitário (Figura 17). No caso dos dados circulares, o vetor unitário pode ser definido por:

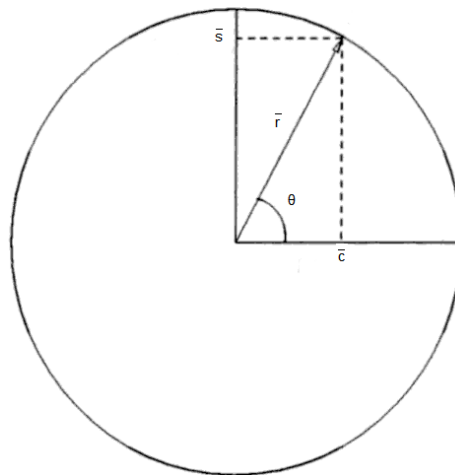
$$x = [\cos \theta \quad \sin \theta]'$$
 (Eq. 1)

A direção média de “n” observações pode ser expressa em coordenadas cartesianas através de:

$$\bar{c} = \sum_{i=1}^n \frac{\cos \theta_i}{n} ; \bar{s} = \sum_{i=1}^n \frac{\sin \theta_i}{n}$$
 (Eq. 2)

O vetor  $\bar{r} = [\bar{c} \quad \bar{s}]$  é o vetor médio resultante das “n” observações com o comprimento médio resultante:

$$\bar{R} = \sqrt{\bar{c}^2 + \bar{s}^2} \in [0,1]$$
 (Eq. 3)



**Figura 17:** Representação de dados circulares (adap. Barbosa, 2013).

e a direção média (para  $\bar{r} \neq 0$ ):

$$\bar{\mu} = \begin{cases} \arctan(\bar{s}/\bar{c}), & \text{se } \bar{c} \geq 0 \\ \arctan(\bar{s}/\bar{c}) + \pi \operatorname{sgn}(\bar{s}), & \text{se } \bar{c} < 0 \end{cases} \quad (\text{Eq. 4})$$

De acordo com Góis (Góis, 2002), a direção mediana " $\tilde{\theta}$ " para os dados circulares é qualquer ângulo  $\varphi$  tal que: i) metade dos registos estão contidos no arco  $[\varphi, \varphi + \pi]$ ; ii) a maioria dos dados estão mais próximos de  $\varphi$  do que de  $\varphi + \pi$ .

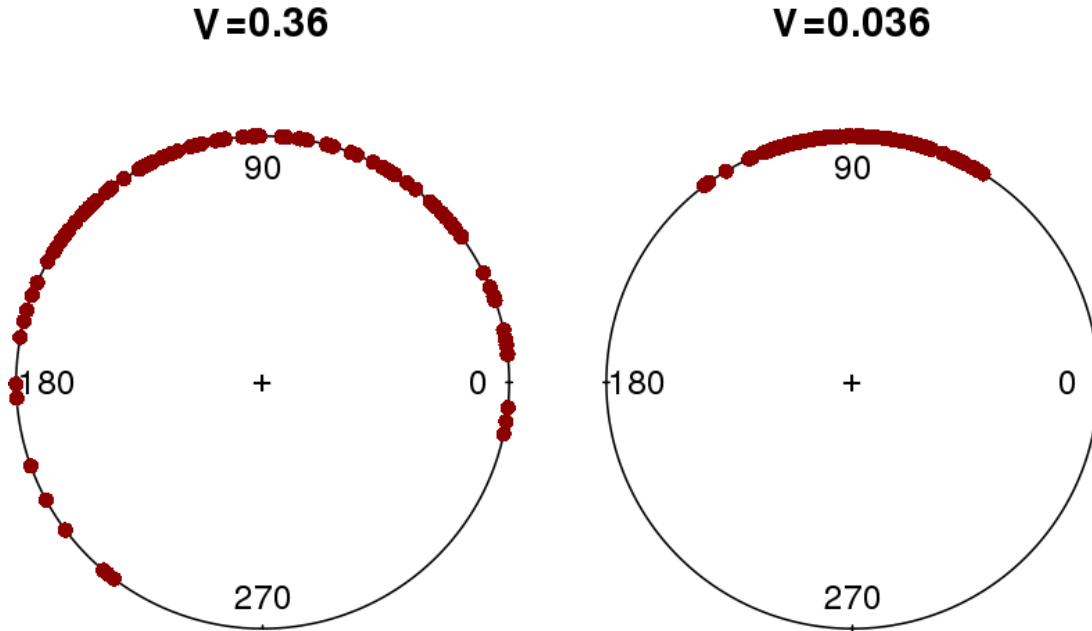
Assim, a direção mediana circular dos dados, obtida pelo *software* ORIANA<sup>2</sup>, é determinada pela definição da direção " $\varphi$ " que minimiza a função:

$$d(\tilde{\theta}) = \pi - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\pi - |\theta_i - \varphi|| \quad (\text{Eq. 5})$$

Para os dados em estudo, a variância circular " $V$ " (Figura 18) e o desvio padrão circular " $s$ " são obtidos com recurso às seguintes expressões (Góis, 2002):

$$V = 1 - \bar{R} \quad (\text{Eq. 6})$$

$$s = \sqrt{-2 \log(1 - V)} = \sqrt{-2 \log \bar{R}} \quad (\text{Eq. 7})$$



**Figura 18:** Representação gráfica de dados com variâncias circulares distintas (adap. Barbosa, 2013).

<sup>2</sup> Oriana: Version 4.01 Copyright ©1994-2012 Kovach Computing Services

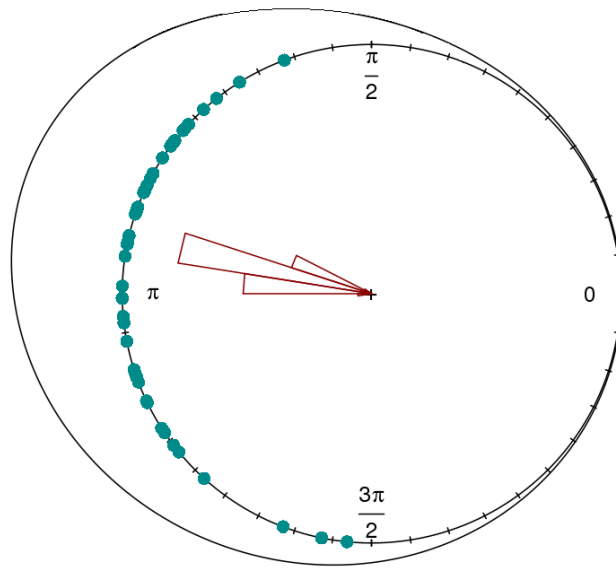
O coeficiente de concentração “k” representa uma medida inversa da dispersão da distribuição dos dados (Góis, 2002) sendo calculado de acordo com:

$$\hat{k} \begin{cases} 2\bar{R} + \bar{R}^3 + \frac{5\bar{R}^5}{6} & se \quad \bar{R} < 0.53 \\ -0.4 + 1.39\bar{R} + 0.43(1 - \bar{R}) & se \quad 0.53 \leq \bar{R} < 0.85 \\ \frac{1}{(\bar{R}^3 - 4\bar{R}^2 + 3\bar{R})} & se \quad \bar{R} \geq 0.85 \end{cases} \quad (Eq. 8)$$

Segundo Góis (Góis, 2002) é possível estabelecer intervalos de confiança (Figura 19) para a direção média determinada “ $\bar{\mu}$ ” em função do comprimento do vetor médio “ $\bar{R}$ ”, do coeficiente de concentração “k” e do número de observações “n”, de acordo com a expressão:

$$\bar{\mu} \pm \sin^{-1}\left(\frac{Z_{\alpha/2}}{\sqrt{n\hat{k}\bar{R}}}\right) \quad (Eq. 9)$$

onde  $Z_{\alpha/2}$  indica, para um nível de confiança estipulado  $\alpha$ , o valor da distribuição Gaussiana normalizada  $\sim N(0,1)$ .



**Figura 19:** Representação gráfica de um intervalo de confiança de 95% (adap. Barbosa, 2013).

### 4.3 Medida de associação de variáveis

De acordo com Carvalho (Carvalho, 2010) o coeficiente de correlação circular-circular permite estudar o grau de associação de duas variáveis circulares com base no seu coeficiente de correlação (Figura 20 e 21), sendo “ $\theta$ ” a direção e “ $\Phi$ ”

a inclinação para um conjunto de observações  $(\theta_1, \Phi_1), (\theta_2, \Phi_2) \dots (\theta_n, \Phi_n)$ . Este coeficiente pode ser calculado através de diferentes fórmulas tais como:

$$ciracor = \frac{\sum_{1 \leq i \leq j \leq n} \sin(\theta_i - \theta_j) \sin(\Phi_i - \Phi_j)}{\sqrt{\sum_{1 \leq i \leq j \leq n} \sin^2(\theta_i - \theta_j) \sum_{1 \leq i \leq j \leq n} \sin^2(\Phi_i - \Phi_j)}} \quad (Eq. 10)$$

(Góis, 2002)

$$r^2 = \frac{[(r_{cc}^2 + r_{cs}^2 + r_{sc}^2 + r_{ss}^2) + 2(r_{cc}r_{ss} + r_{cs}r_{sc}) \times r_1r_2 - 2(r_{cc}r_{cs} + r_{sc}r_{ss})r_2 - 2((r_{cc}r_{sc} + r_{cs}r_{ss})r_1)]}{[(1 - r_1^2)(1 - r_2^2)]} \quad (Eq. 11)$$

(Mardia, 2000, pág.249)

Onde:

$$r_{cc} = corr(\cos\theta, \cos\varphi)$$

$$r_{cs} = corr(\cos\theta, \sin\varphi)$$

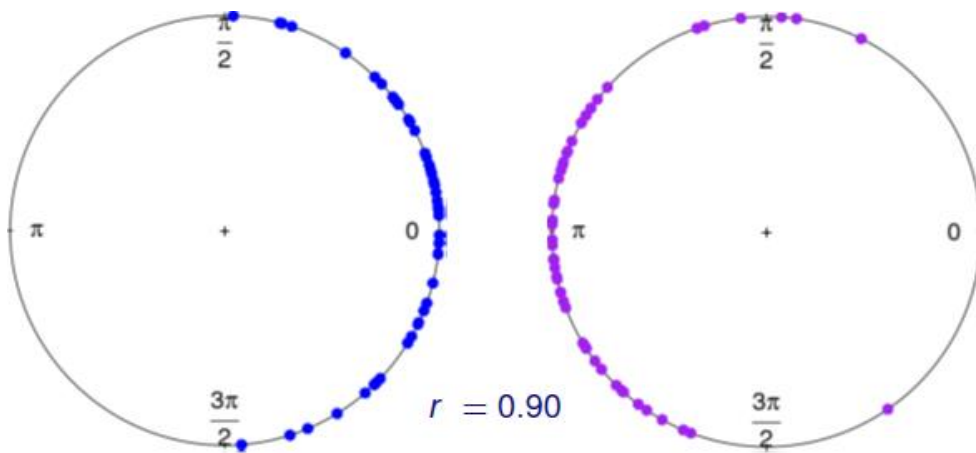
$$r_{sc} = corr(\sin\theta, \cos\varphi)$$

$$r_{ss} = corr(\sin\theta, \sin\varphi)$$

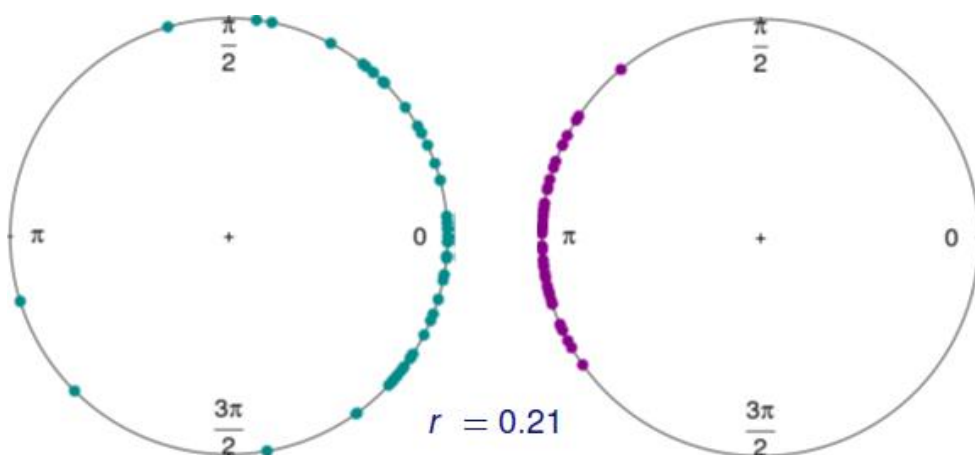
$$r_1 = corr(\cos\theta, \sin\theta)$$

$$r_2 = corr(\cos\varphi, \sin\varphi)$$

Os valores de  $r^2$  são sensíveis a amostras pequenas, ou seja, com número de medições reduzido podendo induzir em resultados errados. A função *corr* (no *software* Oriana) indica a correlação circular entre as variáveis em estudo (Carvalho, 2010).



**Figura 20:** Representação gráfica de dados com forte coeficiente de correlação circular-circular (adap. Barbosa, 2013).



**Figura 21:** Representação gráfica de dados com fraco coeficiente de correlação circular-circular (adap. Barbosa, 2013).

#### 4.4 Modelos de distribuição probabilística

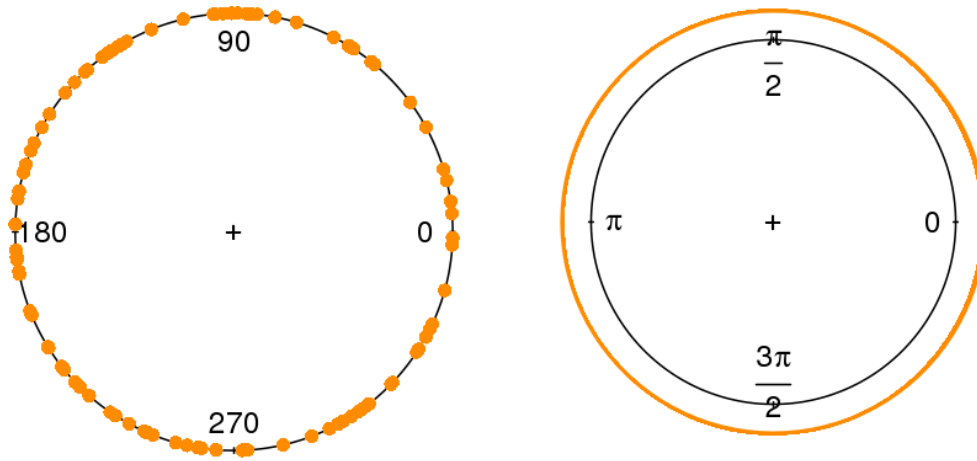
Além da visão descritiva decorrente dos estatísticos circulares básicos referidos anteriormente, é possível abordar uma perspectiva probabilística da estatística direcional através do ajuste de alguns modelos de distribuições aos dados em estudo (Góis, 2002). As distribuições adequadas e mais utilizadas na análise de dados circulares são:

- Distribuição uniforme circular  $\rightarrow u(\varphi)$ ;
- Distribuição de von-Mises  $\rightarrow M(\mu, k)$ , também conhecida por distribuição normal circular;
- Distribuição normal Wrapped  $\rightarrow WN(\mu, \sigma^2)$ , também designada por distribuição normal adaptada a dados circulares, ou ainda normal arqueada.

A distribuição uniforme circular (Figura 22) utiliza uma função densidade de probabilidade  $u(\varphi)$  sem média circular e com o comprimento do vetor resultante igual a zero (Góis, 2002).

$$u(\varphi) = \frac{1}{2\pi} \text{ com } \varphi \in [0, 2\pi] \quad (\text{Eq. 12})$$





**Figura 22:** Representação gráfica de uma distribuição uniforme de dados circulares (adap. Barbosa, 2013).

De acordo com Góis (Góis, 2002), a distribuição de von-Mises apresenta-se como o equivalente da distribuição normal para dados circulares (Figura 23), sendo uma das distribuições mais utilizadas na modelação de dados reais. Possui determinadas propriedades como a regularidade, simetria e parâmetros interpretáveis que se tornam importantes nas aplicações da estatística direcional. A sua função densidade de probabilidade é a seguinte:

$$M_{\mu,k}(\theta) = \frac{1}{2\pi I_0(k)} e^{k \cos(\theta-\mu)} \quad (Eq. 13)$$

onde  $I_0$  é a função de Bessel modificada do primeiro tipo e de ordem 0,

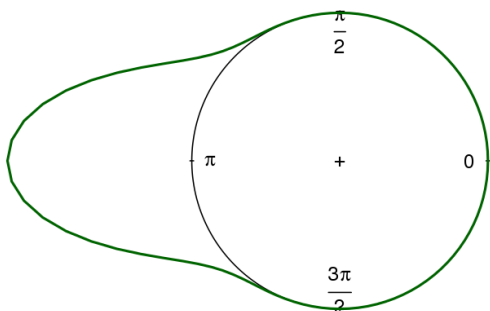
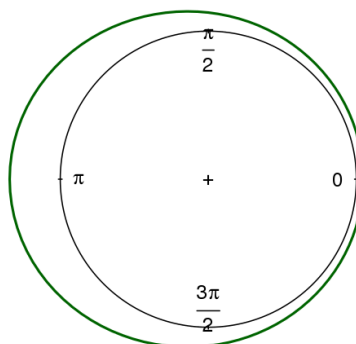
$$I_0(k) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{k \cos \theta} d\theta \quad (Eq. 14)$$

que pode ser determinada pela expansão em série, das potências,

$$I_0(k) = \sum_{r=0}^{\infty} \frac{1}{(r!)^2} \left(\frac{k}{2}\right)^{2r} \quad (Eq. 15)$$

É possível definir, para a distribuição de von-Mises, uma média e variância circular:

- média  $\rightarrow \mu$
- variância  $\rightarrow A(k) = \nu = 1 - I_1(k)/I_0(k) = \frac{k}{2} \left\{ 1 - \frac{k^2}{9} + \frac{k^4}{48} + \frac{11k^6}{3072} + \dots \right\}$

Densidade - Distribuição de Von Mises  
 $\mu=\pi$ ,  $\kappa=50$ Densidade - Distribuição de Von Mises  
 $\mu=\pi$ ,  $\kappa=1$ 

**Figura 23:** Representações gráficas da distribuição de von-Mises com parâmetros distintos (adap. Barbosa, 2013).

A função de repartição da distribuição de von-Mises é dada por,

$$F(\theta, 0, k) = \frac{1}{I_0(k)} \int_0^\theta e^{k \cos u} du \quad (\text{Eq. 16})$$

permitindo a determinação do seu valor, numericamente difícil de calcular, através da consulta de valores tabelados ou aproximações a uma distribuição normal de parâmetros  $N(\mu, k^{-1})$  (Mardia, 2000, pág.41).

## 4.5 Testes de ajustamento

Em complemento às leis de distribuição, que permitem a modelação de dados circulares por funções teóricas, a estatística circular possui uma série de testes destinados a avaliar a qualidade do ajustamento das distribuições teóricas referidas anteriormente aos dados resultantes das observações (Góis, 2002).

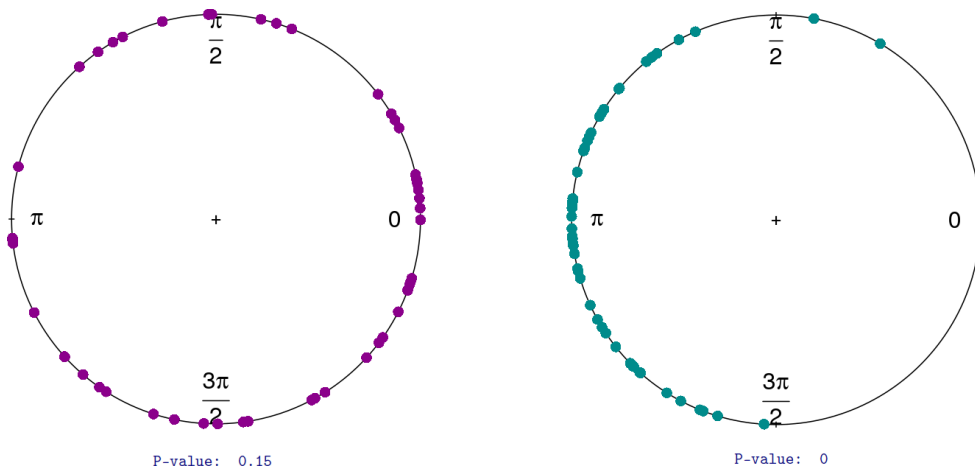
Segundo Góis (Góis, 2002), o teste de uniformidade de Rayleigh calcula a probabilidade de não rejeição/rejeição da hipótese nula ( $H_0 \rightarrow$  “os dados estão distribuídos de uma maneira uniforme”), com base num valor de “Z” determinado pela expressão  $Z = n\bar{R}^2$ , onde “n” é o número de observações e “ $\bar{R}$ ” é o comprimento do vetor médio (Figura 24).

Um grande valor do vetor médio significa maior concentração dos dados em torno da média, ou seja, menor probabilidade destes estarem uniformemente distribuídos.

O cálculo da probabilidade de “Z” (valores críticos de Z) é obtido através da equação:

$$P(z \geq K) = \exp \left\{ \sqrt{1 + 4n + 4(n^2 - nK)} - (1 + 2n) \right\} \quad (Eq. 17)$$

Quando a probabilidade é inferior ao nível de significância escolhido (geralmente 0.05) conclui-se que os dados não estão distribuídos uniformemente, mostrando evidências de uma direção preferencial.



**Figura 24:** Representação gráfica de resultados distintos para o Teste de Rayleigh (adap. Barbosa, 2013).

O teste de afastamento de Rao (Mardia, 2000, pág.108) utiliza a hipótese nula ( $H_0$ ) apresentada anteriormente e verifica se os espaçamentos entre pontos adjacentes estão ou não aproximadamente distribuídos à volta de um círculo.

$$L = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left| T_i - \frac{2\pi}{n} \right| \quad (Eq. 18)$$

$$T_i = \theta_{(i)} - \theta_{(i-1)} \quad \text{com } i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (Eq. 19)$$

No caso de uma distribuição uniforme, o espaçamento entre os dados deverá ser aproximadamente  $360^\circ/n$ , caso os valores verificados sejam muito distintos deste valor, a probabilidade dos dados respeitarem a hipótese nula é reduzida (Góis, 2002).

O teste de Watson  $U^2$  (Watson, 1961) avalia a qualidade do ajustamento dos dados em estudo a uma distribuição teórica específica calculando a média do quadrado dos desvios entre os dados observados e os previstos pela distribuição teórica. Caso os desvios sejam elevados (elevado  $U^2$  e baixa probabilidade) a hipótese nula é rejeitada (Góis, 2002).

$$U_n^2 = \sum_{i=1}^n V_i^2 - \sum_{i=1}^n \frac{(2i-1)V_i}{n} + n \left[ \frac{1}{3} - \left( \bar{V} - \frac{1}{2} \right)^2 \right] \quad (Eq. 20)$$

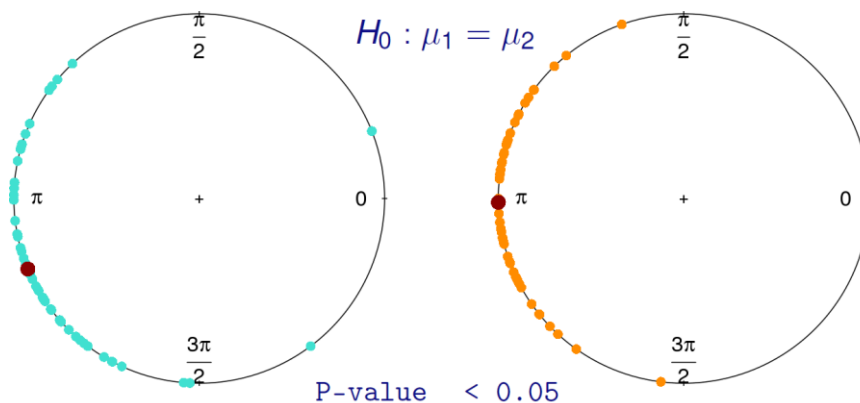
com:

$n \rightarrow$  número de observações consideradas por ordem ascendente  $\theta_1 \leq \theta_2 \leq \dots \leq \theta_n$ ;

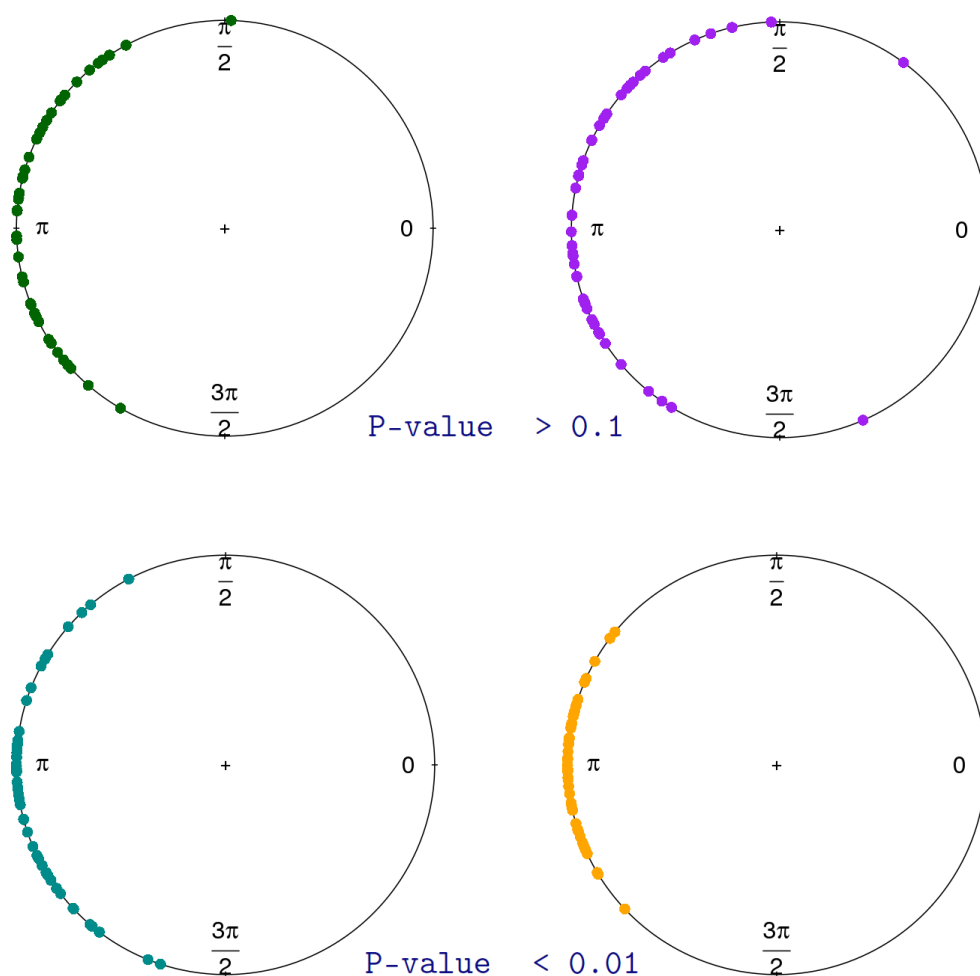
$V_i = F(\theta_i) \rightarrow$  representa o valor teórico da distribuição para o ângulo  $\theta_i$ ;

$\bar{V} \rightarrow$  média dos  $V_i$

É igualmente possível desenvolver testes não paramétricos, teste de Watson (Figura 25) e teste de espaçamento de Rao (Figura 26), de homogeneidade de duas amostras de dados circulares, nos quais se pretende comparar se a direção média (direção preferencial) ou a variância circular (dispersão) das duas amostras é igual, isto é, provêm da mesma população (e.g Watson, 1961; Rao, 1969).



**Figura 25:** Representação gráfica de um teste de Watson com rejeição da hipótese nula ( $H_0$ ) (adap. Barbosa, 2013).



**Figura 26:** Representações gráficas de dados com resultados distintos no teste de espaçamento de Rao (adap. Barbosa, 2013).

O teste de Kuiper (Kuiper, 1960) apresenta-se como uma abordagem alternativa na medida em que, compara diretamente a distribuição dos dados com a distribuição de uma função teórica desejada. Nota-se assim, que o teste segue uma filosofia semelhante à do teste de Kolmogorov-Smirnov (Arnold e Emerson, 2011) para o ajustamento de leis de distribuição cumulativas teóricas a dados experimentais, quando estes são objeto da estatística clássica (Góis, 2002).

Neste teste procede-se à análise dos desvios máximos (desvios máximos negativos  $\rightarrow D_n^-$  e desvios máximos positivos  $\rightarrow D_n^+$ ) entre a distribuição cumulativa empírica e a distribuição cumulativa teórica (Góis, 2002).

Partindo da distribuição cumulativa empírica " $S_n$ " dos dados ordenados, definida por:

$$S_n(\theta) = \frac{i}{n} \quad \text{se } \theta_{(i)} \leq \theta \leq \theta_{(i+1)} \quad \text{com } i = 0, 1, \dots, n \quad (\text{Eq. 21})$$

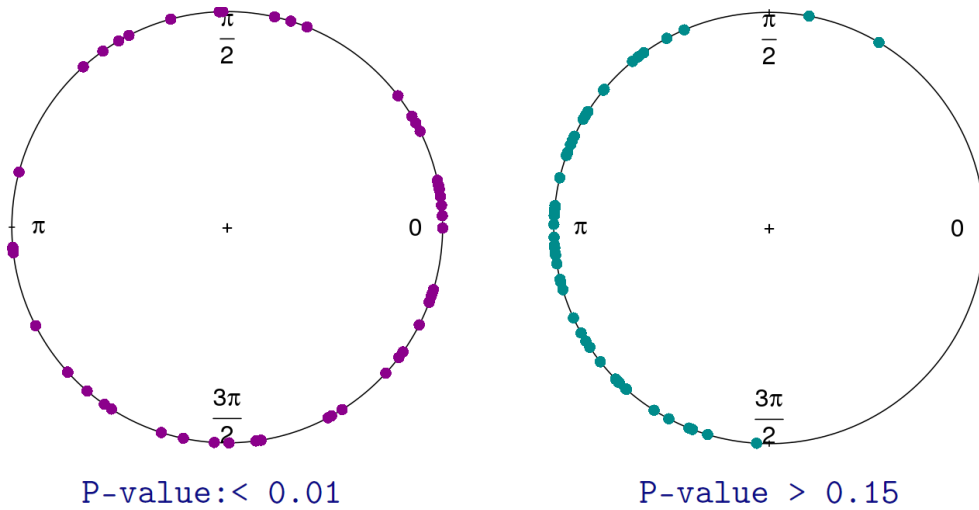
e considerando a distribuição cumulativa teórica “ $F(\theta)$ ”, é possível definir os desvios máximos através das expressões,

$$D_n^+ = \max\{S_n(\theta) - F(\theta)\} \text{ e } D_n^- = \max\{F(\theta) - S_n(\theta)\} \quad (\text{Eq. 22})$$

Definindo-se “ $V_n$ ” como,

$$V_n = D_n^+ + D_n^- \quad (\text{Eq. 23})$$

torna-se possível comparar o valor de “ $V_n$ ” obtido com valores críticos tabelados (Mardia, 2000, pág.102) permitindo para determinado nível de significância, testar a hipótese nula. Como alternativa é possível comparar a probabilidade associada ao “ $V_n$ ” obtido, com o valor de significância estipulado, rejeitando-se a hipótese  $H_0$  sempre que  $P(V_n) < \alpha$  (Góis, 2002) (Figura 27).



**Figura 27:** Representação gráfica de resultados distintos no teste de Kuiper (adap. Barbosa, 2013).

O teste V representa uma variante do teste de Rayleigh e permite testar uma hipótese alternativa que defende que distribuição é não uniforme com uma média direcional específica (Mardia, 2000). Neste caso, é razoável rejeitar a uniformidade para valores elevados de:

$$\bar{C} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(\theta_i - \mu) \quad (\text{Eq. 24})$$

onde “ $\mu$ ” é a direção média hipotética

## 5 TRATAMENTO DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 5.1 Tratamento dos dados

Os dados em estudo foram tratados com recurso ao *Oriana*, um *software* de estudo estatístico de dados circulares ou direcionais. Tal como mencionado no capítulo 3, os dados encontram-se divididos por setor e separados em diferentes estruturas implicando assim, que o tratamento e os resultados apresentados no presente capítulo, sigam essa organização.

Inicialmente foram obtidos os estatísticos básicos que permitem obter diversos resultados que podem ser validados ou rejeitados nos testes estatísticos subsequentes (Carvalho, 2010).

**Tabela 1:** Excerto da tabela com os estatísticos básicos da foliação de 2ª fase ( $S_2$ ).

$S_2$		Nº Observações	Vetor médio(°)	...	Intervalo de Confiança(°)			
					95% (-)	95% (+)	99% (-)	99% (+)
Avidagos	Direção	178	272,2	...	268,5	276,0	267,3	277,1
	Inclinação	178	26,8	...	25,5	28,1	25,1	28,5
Franco	Direção	132	290,3	...	283,2	297,4	281,0	299,6
	Inclinação	132	23,4	...	21,2	25,6	20,5	26,3
...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...
Varges	Direção	67	286,9	...	281,2	292,5	279,5	294,3
	Inclinação	67	28,7	...	26,0	31,4	25,1	32,3
vg-Portela	Direção	85	285,6	...	282,9	288,3	282,0	289,1
	Inclinação	85	45,6	...	43,4	47,8	42,7	48,4

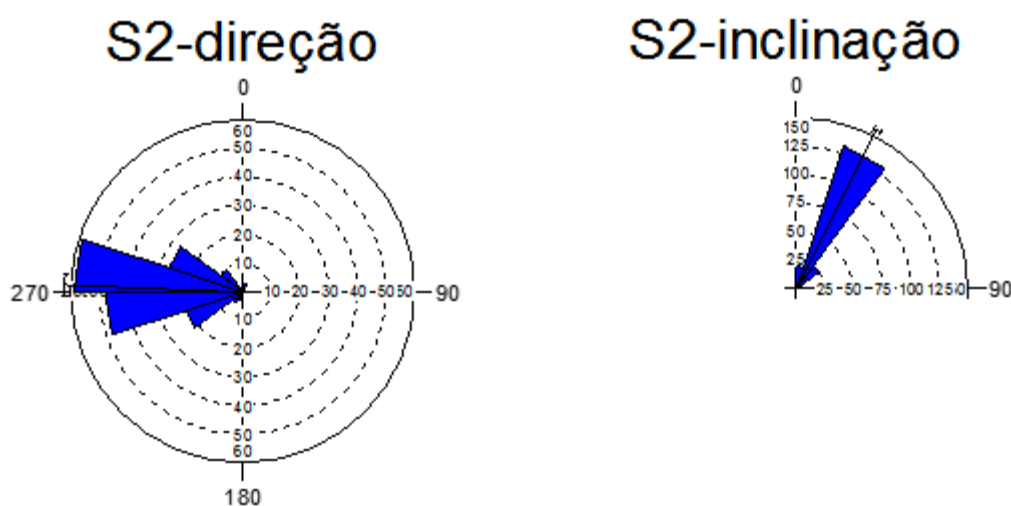
Seguidamente, procedeu-se à elaboração de diagramas de roseta da direção e inclinação para as categorias de todos os setores. Os diagramas de roseta ou histogramas circulares permitem, no campo da análise geométrica, representar os dados de atitudes em projeções estereográficas de forma a mostrar ou interpretar a geometria e a atitude das estruturas (Fossen, 2010). Ainda de acordo com Fossen (Fossen, 2010) este tipo de métodos de representação, devido à sua eficácia e rapidez, tornou-se amplamente usado na apresentação e interpretação de dados espaciais.

Segundo Carvalho (Carvalho, 2010) os diagramas de roseta apresentam diferentes e importantes funcionalidades:

- Identificar as direções estruturais predominantes;

- Conhecer a frequência dos dados que compõem cada pétala (com recurso aos círculos internos);
- Obter a direção média (representada pelo segmento de reta no interior do círculo);
- Auferir o intervalo de confiança para a direção média (através do arco exterior ao círculo).

Neste trabalho os diagramas foram obtidos sob a forma circular, nos quais, o valor 0 corresponde à direção norte e a leitura faz-se no sentido dos ponteiros do relógio (Carvalho, 2010). Os dados em estudo permitiram construir dois diagramas de roseta distintos, um para a variável direção com intervalo de valores 0-360° e um para a variável inclinação com intervalo entre 0 e 90°. A leitura destes diagramas, e tomando como exemplo a figura seguinte, deve atingir as seguintes conclusões: A estrutura tem como direção média N 270° (orientação geral este (E)) e possui cerca de 20° de inclinação média. Assim, os resultados e interpretações que mais adiante irão surgir neste capítulo, terão por base uma leitura dos diagramas respeitando os pressupostos referidos anteriormente.

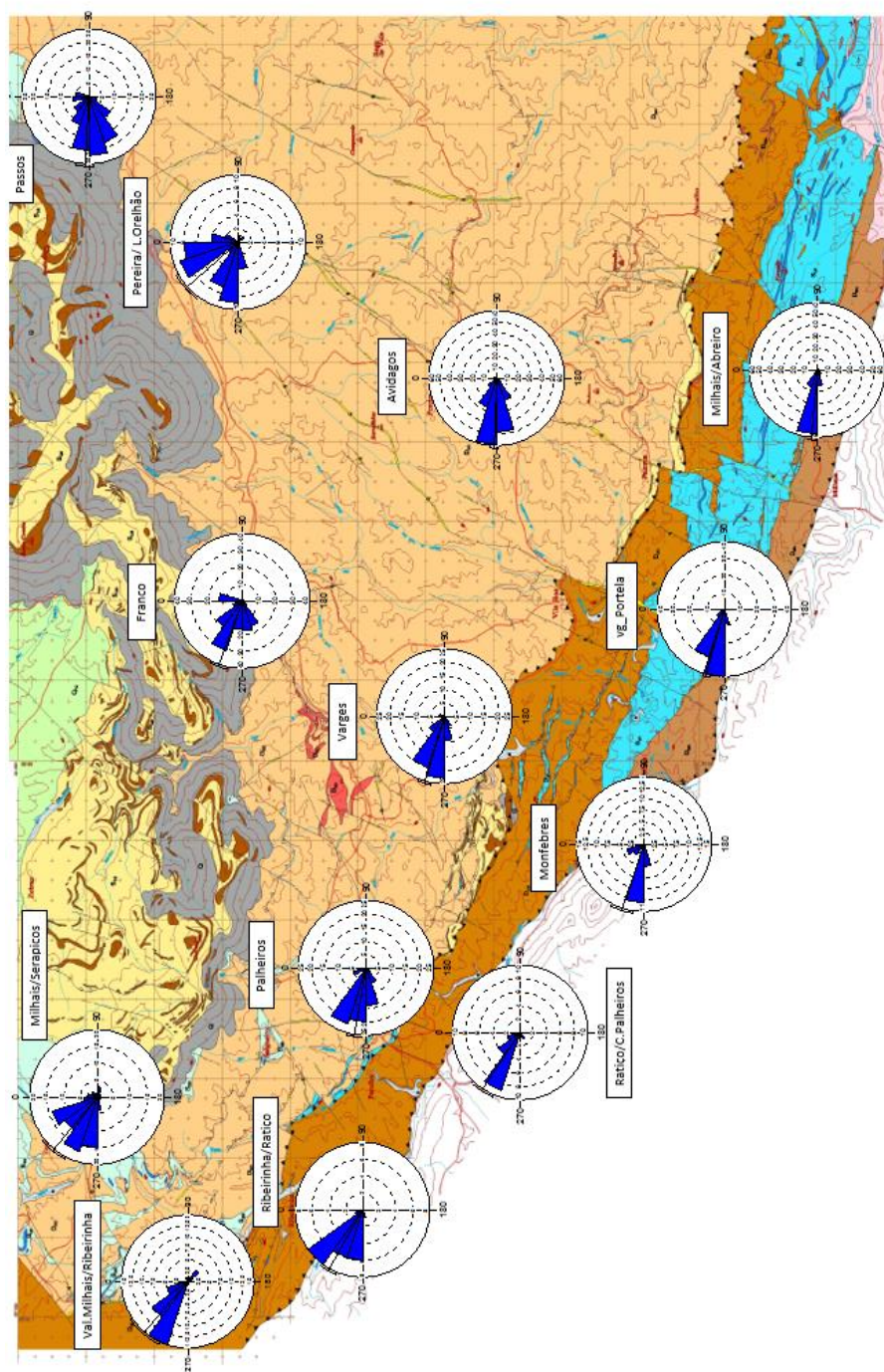


**Figura 28:** Diagramas de roseta das variáveis direção e inclinação de S<sub>2</sub> no setor de Avidagos.

Posteriormente, considerou-se que seria mais vantajoso representar os diagramas de roseta sobre o mapa geológico da área em estudo, com o objetivo de tornar a representação visualmente apelativa facilitando a respetiva e



subsequente interpretação dos resultados. Desta forma foi possível “georreferenciar” no mapa os resultados decorrentes da estatística circular, permitindo aproximar o modelo geológico estrutural dos respectivos estatísticos circulares. Este tipo de representação foi criado manualmente pelo autor e permitiu incluir todos os setores em cada mapa, existindo apenas a separação entre a direção e inclinação das diferentes estruturas.



**Figura 29:** Ilustração dos diagramas de roseta da direção de S<sub>2</sub> em todos os setores.

Após a obtenção dos estatísticos básicos, realizou-se uma série de testes destinados a avaliar a qualidade do ajustamento das distribuições teóricas aos dados resultantes das observações (Góis, 2002). Juntamente com estes testes procedeu-se também à avaliação do grau de associação entre as variáveis, isto é, se as variáveis são independentes, através do coeficiente de correlação circular-circular (Carvalho, 2010).

**Tabela 2:** Excerto da tabela dos testes de ajustamento para a foliação de 2ª fase (S<sub>2</sub>).

S <sub>2</sub>		Teste Rayleigh		...		Coeficiente Circ-Circ	
		(Z)	(p)			(r)	(p)
Avidagos	Direção	146,2	< 1E-12	...	...	-0,2	< 0,05
	Inclinação	173,7	< 1E-12	...	...		
Franco	Direção	77,1	< 1E-12	...	...	-0,2	< 0,05
	Inclinação	125,6	< 1E-12	...	...		
...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...		
Vargues	Direção	56,6	< 1E-12	...	...	0,0	<0,05
	Inclinação	64,4	< 1E-12	...	...		
vg-Portela	Direção	80,9	< 1E-12	...	...	0,1	<0,05
	Inclinação	82,3	< 1E-12	...	...		

Após a realização dos testes, verificou-se que os valores do coeficiente de correlação circular-circular foram manifestamente reduzidos indicando assim que o grau de associação entre as variáveis de cada setor é muito fraco ou mesmo inexistente. Perante estes resultados, procedeu-se à alteração do campo de aplicação do coeficiente de correlação circular-circular na tentativa de o tornar mais abrangente.

Assim, realizou-se a avaliação do coeficiente de correlação entre as variáveis de cada estrutura, de forma a perceber se as mesmas possuem algum grau de associação. Tendo em conta os resultados obtidos, que serão apresentados mais adiante neste capítulo, considera-se que a alteração realizada foi bastante positiva.

Nos subcapítulos seguintes ocorre a apresentação e interpretação dos resultados obtidos. Tendo em conta que, na zona em estudo, a 1ª fase de deformação dútil varisca está praticamente sobreposta pela 2ª fase e que a 3ª fase está pouco desenvolvida, optou-se por analisar e interpretar apenas os dados pertencentes à 2ª fase remetendo as restantes para anexo. Este facto está relacionado com a proximidade da zona em estudo aos grandes acidentes cisalhantes, ou seja, uma zona de intensa deformação que resulta em maior expressividade da 2ª fase de deformação dútil varisca em relação às restantes.

## 5.2 Discussão dos resultados – Estatísticos Básicos

Neste subcapítulo está presente a interpretação dos valores obtidos nos estatísticos básicos realizados a partir dos dados em estudo. Como cada indicador estatístico é distinto, proceder-se-á à explicação e interpretação de todos os indicadores.

### **Número de observações:**

Este indicador é muito importante na estatística, uma vez que está relacionado com a robustez dos valores obtidos. Naturalmente que, quanto maior é o número de observações, mais robustos são os estatísticos que daí decorrem.

### **Direção e inclinação do vetor médio:**

A direção do vetor médio permite, tal como o nome indica, identificar a direção média ou orientação geral para os dados da estrutura em análise. A inclinação do vetor médio permite identificar a inclinação média que caracteriza a estrutura em estudo. A inclinação da estrutura, compreendida entre 0 e 90°, indica que valores próximos de 0° sugerem estruturas subhorizontais e valores próximos de 90° indicam estruturas subverticais.

### **Comprimento do vetor médio, coeficiente de concentração, variância e desvio padrão circulares e intervalos de confiança:**

O comprimento do vetor médio pode ser interpretado como uma medida de concentração dos dados em torno de um ângulo médio de um conjunto de registos, de tal forma que a sua variação é proporcional à concentração dos registos. No entanto, são comumente utilizadas outras medidas de dispersão tais como: o coeficiente de concentração ( $\hat{k}$ ), a variância circular ( $V$ ) e o desvio padrão circular ( $s$ ). Relativamente a estas medidas de dispersão e através da observação das tabelas é possível identificar que, à medida que o comprimento do vetor médio aumenta, a concentração também aumenta e o desvio padrão e variância circulares diminuem.

A leitura destes resultados é de interpretação direta e indica maior ou menor concentração (neste texto entendida como o inverso da dispersão) dos registos de direção e ou inclinação em torno do vetor médio. O intervalo de confiança encontra-se dependente de todas as medidas apresentadas anteriormente visto que estabelece, como o próprio nome indica, um intervalo em torno do valor médio e por um nível de confiança preestabelecido que contém 95 ou 99% dos dados analisados.

Assim, conjuntos de dados com elevado comprimento de vetor médio e elevada concentração, reduzida variância e desvio padrão circulares irão apresentar um intervalo de confiança manifestamente reduzido, o que sugere pequena dispersão das variáveis (direção/inclinação) em estudo.

### **Mediana:**

A mediana, que consiste também numa medida de localização central da distribuição dos dados, pode fornecer indicações, principalmente quando confrontada com o comprimento do vetor unitário, acerca da simetria distribucional dos registos. Assim, estruturas com maiores diferenças entre o valor da mediana e do vetor médio possuem menor simetria distribucional, enquanto estruturas com valores semelhantes apresentam uma simetria evidente em torno destes estatísticos de tendência central.

S <sub>2</sub>		Nº Observações	Vetor médio(°)	Comprimento Vetor Médio	Mediana(°)	Concentração	Variancia Circular	Desvio Padrão Circular(°)	Intervalo de Confiança(°)			
									95% (-)	95% (+)	99% (-)	99% (+)
Avidagos	Direção	178	272,2	0,91	272	5,6	0,09	25,4	268,5	276,0	267,3	277,1
	Inclinação	178	26,8	0,99	27	41,9	0,01	8,9	25,5	28,1	25,1	28,5
Franco	Direção	132	290,3	0,76	291	2,5	0,24	42	283,2	297,4	281,0	299,6
	Inclinação	132	23,4	0,98	22	20,5	0,03	12,8	21,2	25,6	20,5	26,3
Milhais-Abreiro	Direção	98	274,8	0,95	278	9,5	0,05	19,2	271,0	278,6	269,9	279,8
	Inclinação	98	43,8	0,98	45	22,0	0,02	12,4	41,4	46,3	40,6	47,0
Milhais-Serapicos	Direção	85	309,6	0,64	309	1,7	0,36	54,2	297,9	321,4	294,2	325,1
	Inclinação	85	35,2	0,96	30	12,0	0,04	16,9	31,6	38,8	30,5	39,9
Montefres	Direção	27	288,8	0,91	282	6,0	0,09	24,5	279,5	298,0	276,6	300,9
	Inclinação	27	54,5	0,99	54	36,4	0,01	9,6	50,9	58,1	49,8	59,3
Palheiros	Direção	74	279,9	0,89	281,5	5,0	0,11	27,3	273,7	286,2	271,8	288,1
	Inclinação	74	31,4	0,98	31	31,1	0,02	10,4	29,0	33,8	28,3	34,5
Passos	Direção	105	273,2	0,80	269	2,8	0,21	38,8	265,9	280,6	263,6	282,9
	Inclinação	105	25,4	0,99	25	38,5	0,01	9,3	23,6	27,2	23,2	27,8
Pereira-Lamas de Orelhão	Direção	47	318,7	0,73	325	2,2	0,27	45,7	305,7	331,7	301,6	335,8
	Inclinação	47	24,7	0,99	25	39,4	0,01	9,2	22,1	27,3	21,2	28,1
Ratiço-Castro de Palheiros	Direção	18	303,4	0,93	304	7,3	0,07	22,1	293,2	313,6	290,0	316,8
	Inclinação	18	57,4	0,99	60	42,3	0,01	8,9	53,3	61,5	52,0	62,8
Ribeirinha-Ratiço	Direção	22	299,8	0,96	302	11,5	0,05	17,3	292,5	307,0	290,2	309,3
	Inclinação	22	61,8	0,98	64	27,1	0,02	11,1	57,1	66,4	55,7	67,9
Valongo de Milhais-Ribeirinha	Direção	39	310,5	0,68	305	1,9	0,32	50	294,7	326,2	289,8	331,2
	Inclinação	39	63,3	0,96	64	13,2	0,04	16,1	58,3	68,4	56,7	70,0
Vargues	Direção	67	286,9	0,92	287	6,5	0,08	23,5	281,2	292,5	279,5	294,3
	Inclinação	67	28,7	0,98	28	26,1	0,02	11,3	26,0	31,4	25,1	32,3
vg-Portela	Direção	85	285,6	0,98	286	20,9	0,02	12,7	282,9	288,3	282,0	289,1
	Inclinação	85	45,6	0,98	45	31,8	0,02	10,2	43,4	47,8	42,7	48,4

Tabela 3: Estatísticos básicos da foliação de 2ª fase (S<sub>2</sub>).

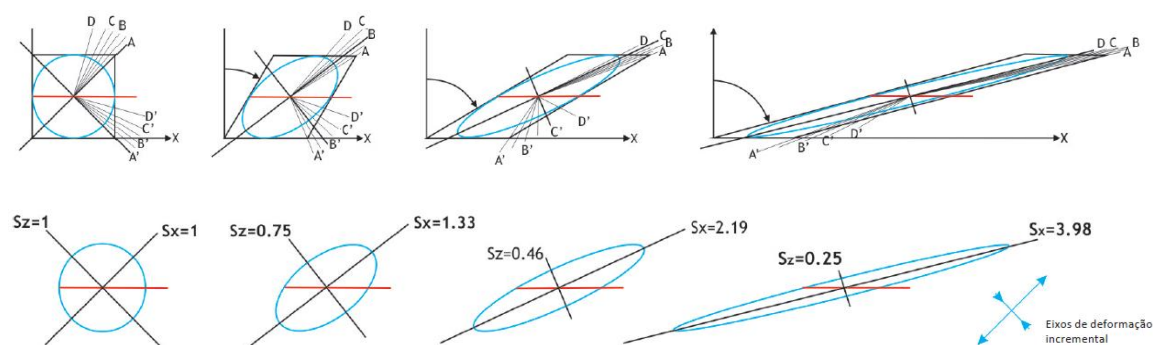


## Foliação de 2ª fase ( $S_2$ )

Na coluna do número de observações constata-se diferenças substanciais no que respeita ao número de dados recolhidos, que contribuíram para o cálculo dos estatísticos básicos de cada setor. Ratiço-Castro de Palheiros, Ribeirinha-Ratiço e Monfegres são os setores com o menor conjunto de registos pelo que a consideração e interpretação dos respetivos estatísticos obrigará a maiores reservas.

A direção do vetor médio varia entre os valores de  $272^\circ$  (setor de Avidagos) e de  $318^\circ$  (setor de Pereira-Lamas de Orelhão). Constata-se, portanto, uma variação angular na direção de  $S_2$  de  $46^\circ$ . Ou seja, ainda que a foliação de 2ª fase tenha uma orientação geral O-NO é possível verificar uma rotação da direção do vetor médio de NO para O, à medida que se observam os diferentes setores caminhando no sentido de Norte para Sul e de Oeste para Este. (O vetor médio do setor de Milhais – Serapicos está orientado para NO, enquanto que, por exemplo, o vetor médio do setor Milhais – Abreiro está orientado para O).

Este facto está de acordo com a deformação progressiva por cisalhamento simples dominante, em que as superfícies anteriores ou as novas que vão ser originadas durante o processo, tendem a paralelizarem-se com os planos principais de cisalhamento. Ou seja, à medida que se tratam os dados dos setores cada vez mais próximos dos grandes carreamentos, a foliação tende a aproximar-se dessa direção.



**Figura 30:** Sucessão de estádios de deformação devido a um processo progressivo de cisalhamento simples. Os eixos sofrem uma evidente rotação ao longo do processo (deformação não-coaxial) existindo apenas uma direção que se mantém constante e não sofre rotação, a direção do plano de cisalhamento. (adap. Rodrigues, 2008).

A inclinação do vetor médio varia entre os valores de  $23^{\circ}$  (setor de Franco) e de  $63^{\circ}$  (setor de Valongo de Milhais-Ribeirinha), sendo de destacar dois intervalos, um entre os  $20^{\circ}$  e  $40^{\circ}$  e outro entre os  $40^{\circ}$  e  $65^{\circ}$ .

O intervalo entre  $20^{\circ}$  e  $40^{\circ}$  corresponde aos setores de Avidagos, Franco, Milhais-Serapicos, Palheiros, Passos, Pereira-Lamas de Orelhão e Varges, o intervalo de  $40^{\circ}$  a  $65^{\circ}$  corresponde aos setores de Milhais-Abreiro, Monfobres, Ratiço-Castro de Palheiros, Ribeirinha-Ratiço, Valongo de Milhais-Ribeirinha e Vg-Portela. Ou seja, nota-se que as menores inclinações dizem respeito aos setores a Norte e as maiores inclinações de  $S_2$  aos setores a Sul, mais próximos dos dois carreamentos.

Assim, à medida que se observam os setores no sentido Norte para Sul ou de Este para Oeste, é possível identificar um claro aumento da inclinação do vetor médio, que atinge os valores máximos na parte NO da zona em estudo.

No que respeita à direção de foliação de 2ª fase ( $S_2$ ), os setores de Milhais-Serapicos, Valongo de Milhais-Ribeirinha, Pereira-Lamas de Orelhão, Franco e Passos, apresentam comprimentos de vetor médio significativamente menores que os restantes setores e consequentemente maiores valores de variância e desvio padrão circulares e menores valores de concentração, ou seja, registos com uma grande dispersão de valores.

Relativamente à inclinação desta estrutura, as diferenças entre os setores são manifestamente reduzidas visto que, todos apresentam elevados comprimentos do vetor médio indicando uma concentração elevada e uma variância e desvio padrão circulares reduzidos.

Este comportamento está relacionado com os atratores planares da fábrica que se definem como as posições finais, estáveis, para as quais as estruturas finitas planares se estão a reorientar no mecanismo limite da deformação geológica: o cisalhamento simples (Rodrigues, 2008).



**Figura 31:** Sucessivas posições (1,2 e 3) das estruturas finitas planares devido à reorientação causada por cisalhamento simples (Rodrigues, 2008).

Na variável direção da foliação de 2ª fase, os setores de Milhais-Abreiro, Monfobres, Passos, Pereira-Lamas de Orelhão, Ribeirinha-Ratiço e Valongo de Milhais-Ribeirinha, possuem as maiores diferenças entre o valor da mediana e o valor do vetor médio apresentando assim, menor simetria na distribuição dos registos em torno destes estatísticos de tendência central. Estabelecendo um raciocínio análogo ao anterior, destacam-se no que diz respeito à inclinação de  $S_2$ , os setores de Milhais-Serapicos, Ratiço-Castro de Palheiros e Ribeirinha-Ratiço.

Rodrigues (Rodrigues,2008) afirma que uma das características principais da 2ª fase é a sua distribuição espacial muito heterogênea, permitindo discernir gradientes na intensidade da deformação à escala da carta, interpretados como testemunhos da sucessão de vários estados evolutivos de uma dada estrutura ao longo do processo de deformação e que culminam em zonas discretas de grande intensidade da deformação cartografadas como acidentes cisalhantes.



Figura 32: Representação gráfica da variável direção de S<sub>2</sub> em todos os setores.

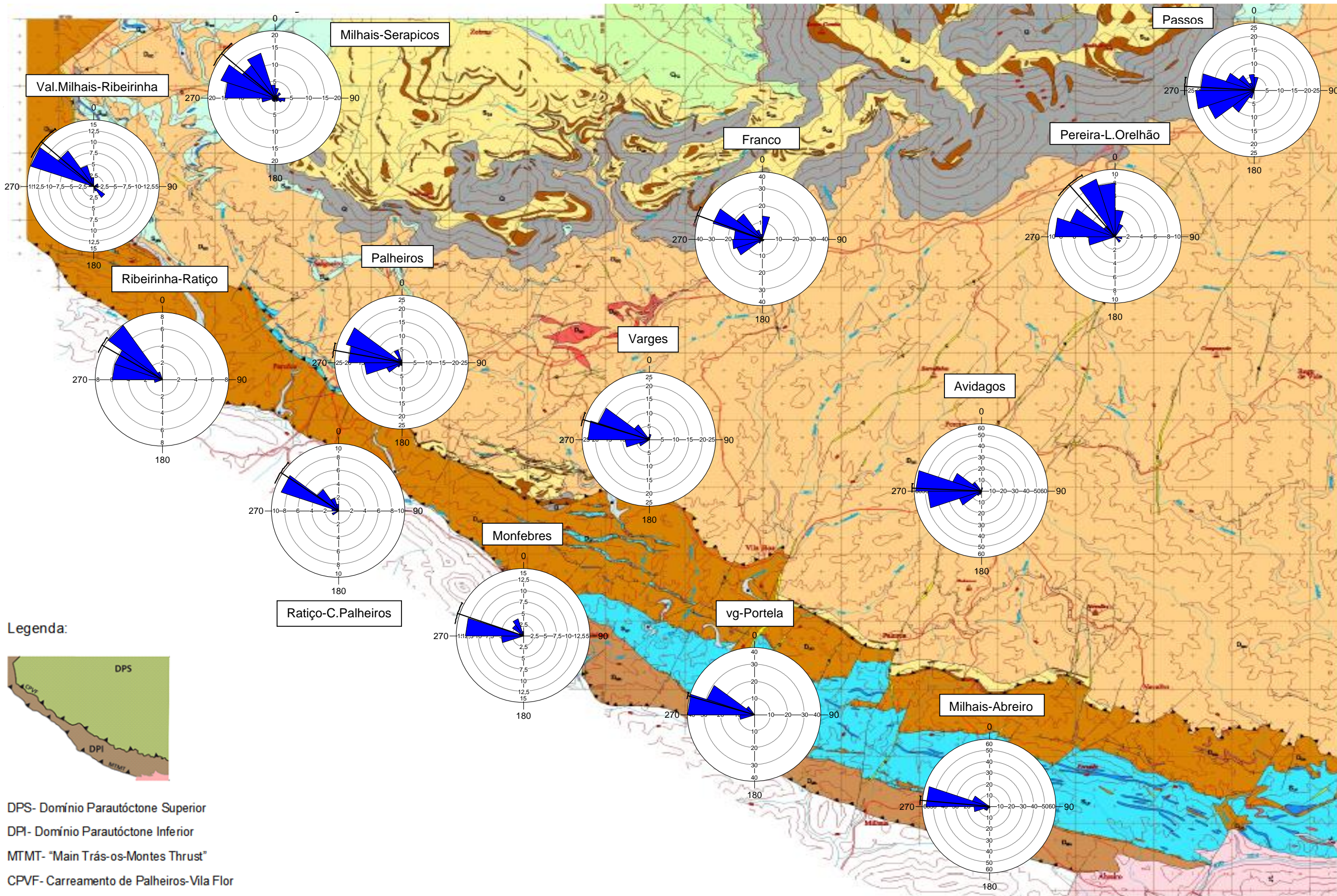
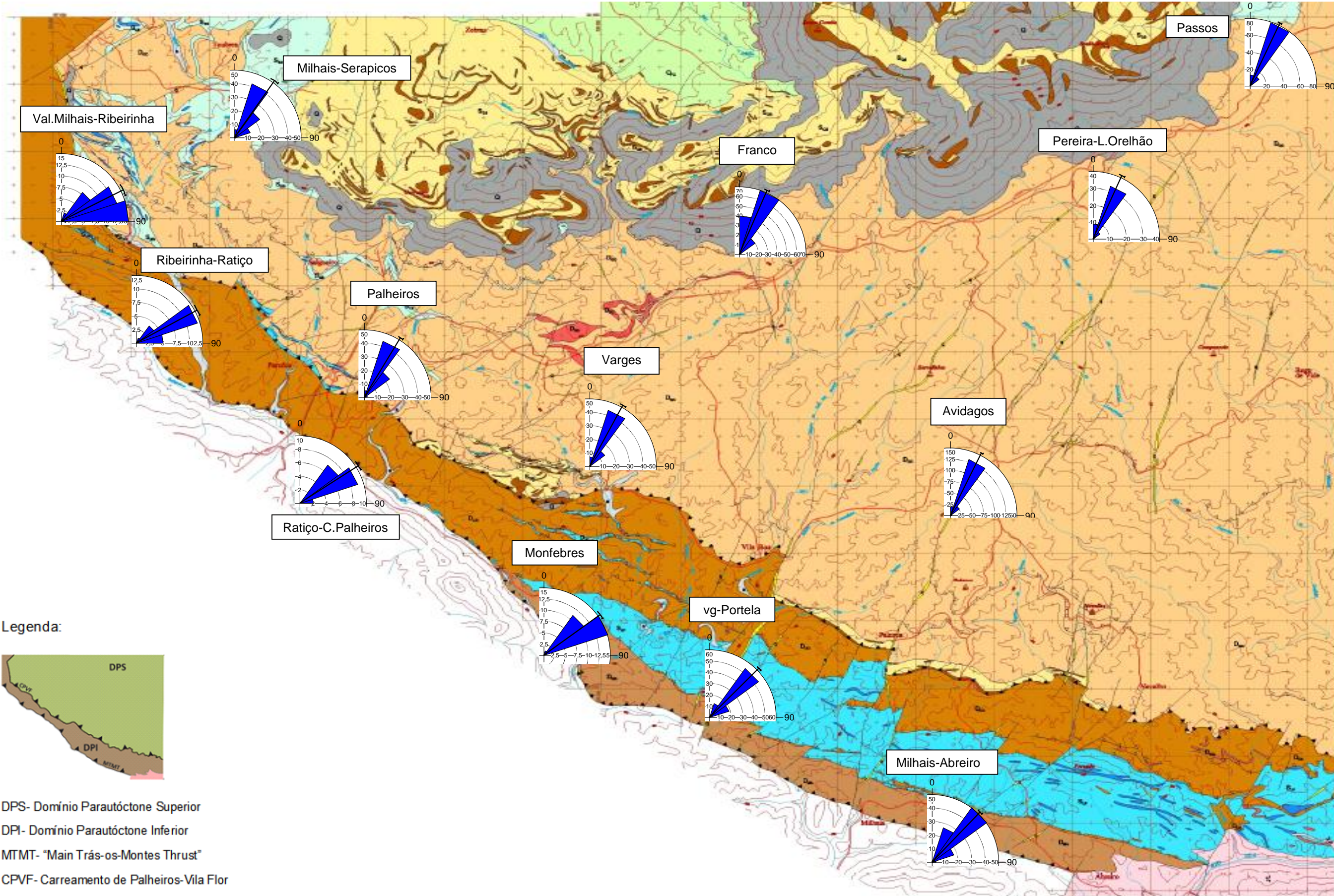




Figura 33: Representação gráfica da variável inclinação de S<sub>2</sub> em todos os setores.





e2		Nº Observações	Vetor médio(°)	Comprimento Vetor Médio	Mediana (°)	Concentração	Variância Circular	Desvio Padrão Circular (°)	Intervalo de Confiança(°)			
									95% (-)	95% (+)	99% (-)	99% (+)
Avidagos	Direção	60	343,0	0,66	339,5	1,8	0,34	52,2	329,7	356,4	325,5	0,6
	Inclinação	60	15,5	0,99	15	42,4	0,01	8,9	13,3	17,7	12,6	18,4
Franco	Direção	11	343,6	0,66	337	1,7	0,34	52,1	311,6	15,7	301,5	25,8
	Inclinação	11	11,1	0,98	8	23,5	0,02	10,3	4,1	18,1	1,9	20,4
Milhais-Abreiro	Direção	39	35,2	0,34	36	0,7	0,66	83,9	359,1	71,2	347,8	82,6
	Inclinação	39	17,5	0,98	16	23,5	0,02	12,0	13,8	21,3	12,6	22,5
Milhais-Serapicos	Direção	42	48,4	0,43	41,5	0,9	0,57	74,8	21,1	75,7	12,5	84,3
	Inclinação	42	13,0	0,98	10	26,3	0,02	11,3	9,5	16,4	8,5	17,4
Montefres	Direção	*										
	Inclinação	*										
Palheiros	Direção	30	12,4	0,64	16	1,7	0,36	54,5	352,5	32,3	346,2	38,6
	Inclinação	30	15,4	0,99	17	57,4	0,01	7,6	12,7	18,2	11,9	19,0
Passos	Direção	27	32,5	0,79	29	2,7	0,21	39,7	17,7	47,3	13,1	51,9
	Inclinação	27	14,0	0,99	15	44,9	0,01	8,6	10,7	17,2	9,7	18,2
Pereira-Lamas de Orelhão	Direção	14	7,9	0,67	2,5	1,8	0,33	50,9	340,5	35,3	331,9	43,9
	Inclinação	14	9,2	0,99	6	54,0	0,01	7,0	5,1	13,3	3,8	14,6
Ratiço-Castro de Palheiros	Direção	*										
	Inclinação	*										
Ribeirinha-Ratiço	Direção	*										
	Inclinação	*										
Valongo de Milhais-Ribeirinha	Direção	*										
	Inclinação	*										
Vargues	Direção	13	33,6	0,58	31	1,3	0,42	59,6	358,2	69,0	347,1	80,2
	Inclinação	13	26,6	0,95	24	7,9	0,05	18,5	15,2	38,0	11,6	41,6
vg-Portela	Direção	12	41,1	0,52	55,5	1,1	0,48	65,5	357,7	84,4	344,1	98,1
	Inclinação	12	20,7	0,99	21,5	32,7	0,01	8,8	15,0	26,4	13,2	28,2

\* Os dados não são estatisticamente representativos (insuficiência de dados)

Tabela 4: Estatísticos básicos dos eixos de dobra de 2ª fase (e2).

**Eixos de dobra  $e_2$ :**

Avaliando o número de observações desta estrutura notam-se diferenças claras relativamente ao número de dados recolhidos em cada setor, existindo mesmo alguns setores que não foram estudados visto que os seus dados não são estatisticamente representativos (insuficiência de dados). Fraco, vg-Portela, Varges e Pereira-Lamas de Orelhão são, de forma evidente, os setores com o espaço amostral mais reduzido sendo, por isso, necessária maior prudência na interpretação dos estatísticos daí decorrentes.

A direção do vetor médio oscila entre os valores do azimute  $7^\circ$  (Setor de Pereira-Lamas de Orelhão) e do azimute  $343^\circ$  (Setor de Franco). Note-se, portanto, que a variação angular é reduzida e está concentrada maioritariamente na parte superior dos diagramas de roseta marcando assim uma orientação geral NNO-NNE para os eixos de dobra de 2ª fase ( $e_2$ ).

A inclinação do vetor médio varia entre os valores de  $9^\circ$  (Setor de Pereira-Lamas de Orelhão) e  $26^\circ$  (Setor de Varges) sendo que maior parte dos registos encontram-se compreendidos no intervalo entre  $10^\circ$  e  $15^\circ$ . Assim, é possível afirmar que os eixos de dobra de 2ª fase são subhorizontais.

O comprimento do vetor médio da variável direção dos eixos de dobra de 2ª fase apresenta valores reduzidos para todos os setores. Este facto, indica que os dados possuem elevada variância e desvio padrão circulares e reduzidos valores de concentração, ou seja, os dados apresentam elevada dispersão.

Pelo contrário, a variável inclinação deste mesmo tipo de estrutura possui comprimentos de vetor médio bastante elevados indicando uma concentração elevada e uma variância e desvio padrão circulares reduzidos. Como é evidente, tendo em conta os factos apresentados anteriormente, os intervalos de confiança da variável direção são maiores, enquanto os da variável inclinação são bastante reduzidos.

Na direção dos eixos de dobra de 2ª fase, praticamente todos os setores evidenciam diferenças substanciais entre o valor da mediana e o valor do vetor médio apresentando assim menor simetria distribucional.

Relativamente à variável inclinação destaca-se o setor de Milhais-Serapicos como aquele que apresenta a maior diferença dentro dos setores com um

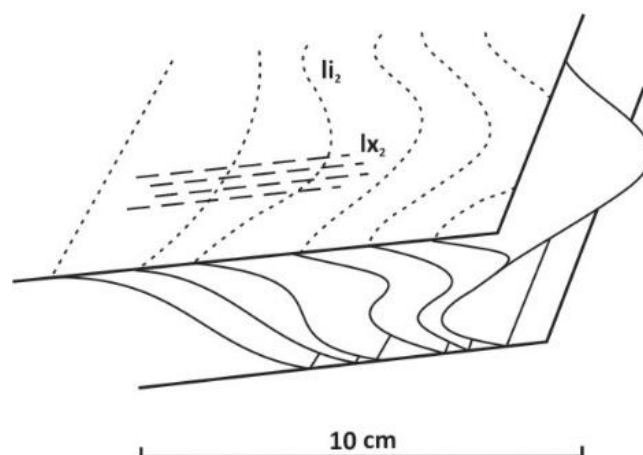
número considerável de observações. Franco e Pereira-Lamas de Orelhão apresentam também diferenças consideráveis que podem ser justificadas pelo reduzido número de dados em análise.

As considerações apresentadas nos parágrafos anteriores parecem estar de acordo com Mies (Mies, 1991, citado por Rodrigues, 2008) quando afirma que: “A progressão na evolução das orientações dos principais elementos dos dobramentos pode ser vista como a reorientação passiva de linha e planos, e esta, atendendo à distribuição dos eixos sobre o plano de  $S_2$ , remete para a génese de dobras em bainha em  $F_2$ ”.



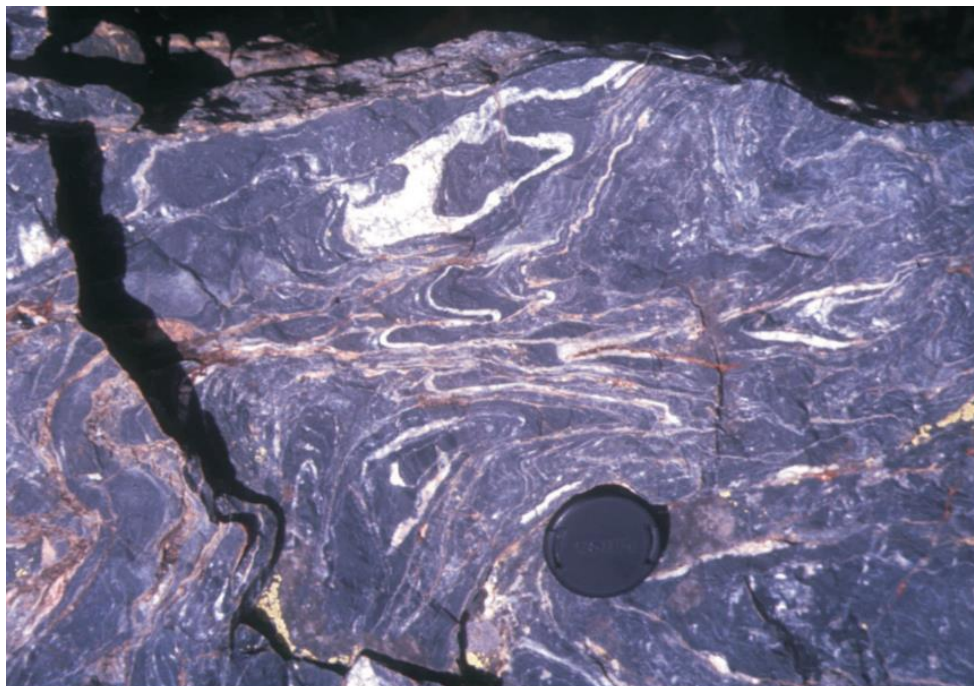
**Figura 34:** Dobras em bainha ou dobras de eixo curvo em filitos listrados da Unidade de Curros. Afloramento a cerca de 1 km a SO da povoação de Palorca. (adap. Rodrigues, 2008).

Segundo Skjerna (Skjerna, 1989) os modelos mais aceites para explicar a formação de dobras em bainha consideram a rotação progressiva dos elementos lineares até à direção de máxima extensão finita, sendo que, a maior parte deles invocam o cisalhamento simples como mecanismo fundamental de génese deste tipo de dobras (e.g. Escher e Waterson, 1974; Carreras et al., 1977; Williams, 1978, apud Rodrigues, 2008)



**Figura 35:** Esquema de afloramento que ilustra o modelo geral da orientação dos eixos  $e_2$ : cisalhamentos mesoscópicos que mostram dobramentos progressivamente mais achatados e de eixos curvos. (adap. Rodrigues, 2008).

Este conceito é corroborado por Rodrigues (Rodrigues, 2008) quando afirma que no caso em estudo ocorre a interpretação das dobras em bainha observadas, nomeadamente junto à base de mantos de carreamento onde a deformação é complexa mas a componente dominante é o cisalhamento simples.



**Figura 36:** Seções elíticas de dobras tubulares em liditos da Unidade de Ferrado provocadas pela atuação dominante da componente de cisalhamento simples (adap. Rodrigues, 2008).



Figura 37: Representação gráfica da variável direção de  $e_2$  em todos os setores.

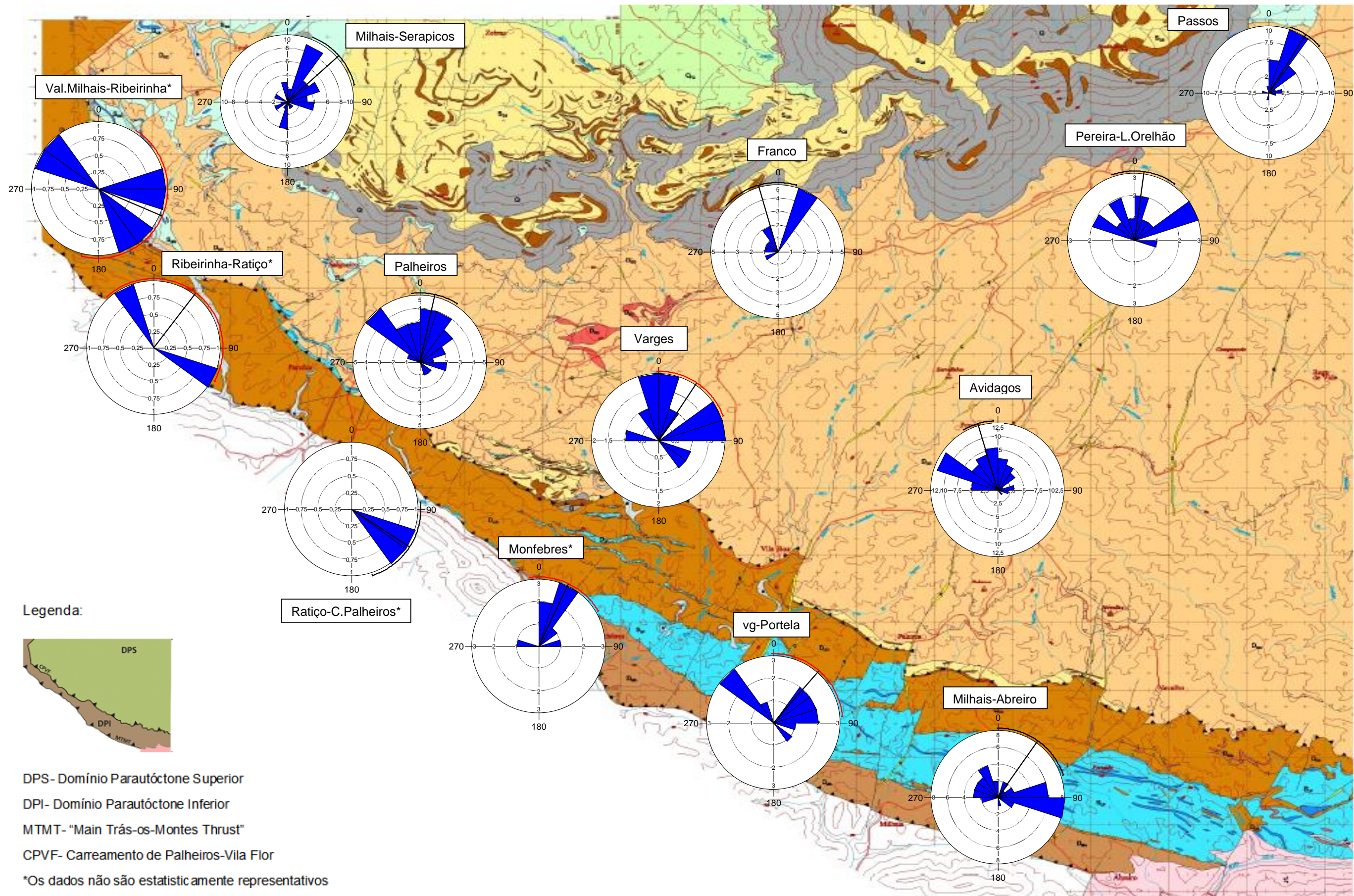
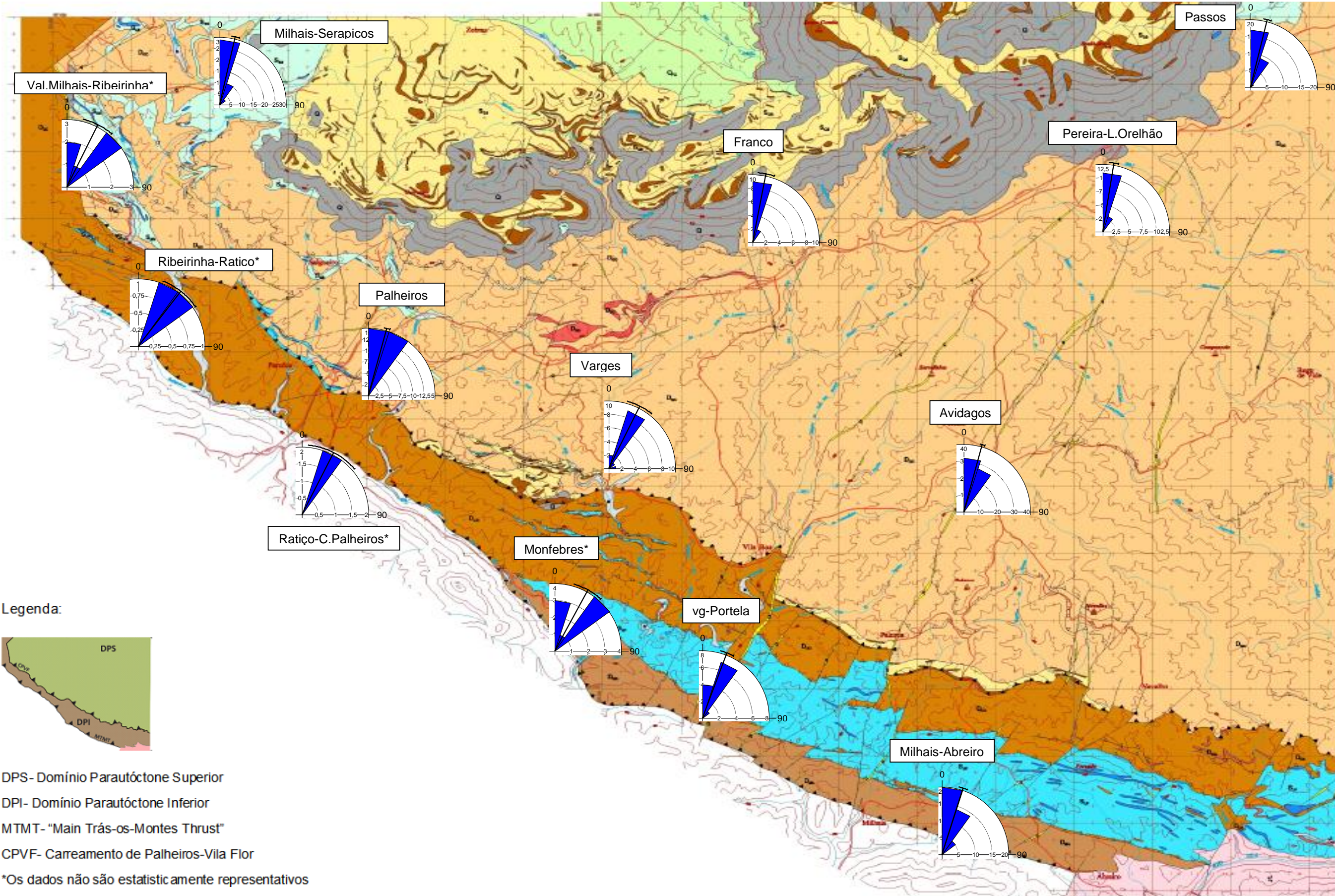




Figura 38: Representação gráfica da variável inclinação de  $e_2$  em todos os setores.





li2		Nº Observações	Vetor médio(°)	Comprimento Vetor Médio	Mediana(°)	Concentração	Variância Circular	Desvio Padrão Circular(°)	Intervalo de Confiança(°)			
									95% (-)	95% (+)	99% (-)	99% (+)
Avidagos	Direção	65	342,1	0,76	337	2,4	0,25	43,0	331,7	352,4	328,5	355,7
	Inclinação	65	16,8	0,99	18	38,2	0,01	9,3	14,6	19,1	13,9	19,8
Franco	Direção	17	1,6	0,72	1	2,2	0,28	46,1	339,8	23,4	332,9	30,2
	Inclinação	17	11,7	0,98	10	26,5	0,02	11,2	6,3	17,0	4,6	18,7
Milhais-Abreiro	Direção	11	59,1	0,42	76	0,7	0,58	75,5	357,8	120,5	338,5	139,8
	Inclinação	11	21,7	0,99	21	39,9	0,01	7,9	16,3	27,1	14,6	28,8
Milhais-Serapicos	Direção	*										
	Inclinação	*										
Monfegres	Direção	*										
	Inclinação	*										
Palheiros	Direção	*										
	Inclinação	*										
Passos	Direção	33	6,4	0,96	6	13,2	0,04	16,1	0,9	11,9	359,1	13,6
	Inclinação	33	17,5	0,99	20	62,5	0,01	7,3	15,0	20,0	14,3	20,8
Pereira-Lamas de Orelhão	Direção	19	27,3	0,56	35	1,4	0,44	61,3	358,0	56,5	348,8	65,7
	Inclinação	19	16,2	0,99	20	46,5	0,01	8,4	12,4	20,0	11,2	21,2
Ratiço-Castro de Palheiros	Direção	*										
	Inclinação	*										
Ribeirinha-Ratiço	Direção	*										
	Inclinação	*										
Valongo de Milhais-Ribeirinha	Direção	*										
	Inclinação	*										
Vargues	Direção	*										
	Inclinação	*										
vg-Portela	Direção	*										
	Inclinação	*										

\* Os dados não são estatisticamente representativos (insuficiência de registos)

**Tabela 5:** Estatísticos básicos da lineação de interseção de 2ª fase (li2).

**Lineação de interseção li<sub>2</sub>:**

Através do número de observações de li<sub>2</sub> constata-se que os dados deste tipo de estrutura não são estatisticamente representativos em vários setores (insuficiência de dados). Milhais-Abreiro destaca-se como o setor com o menor conjunto de registos, pelo que, será necessária alguma prudência na interpretação dos seus estatísticos básicos.

A direção do vetor médio varia entre o azimute de 1º (Setor de Franco) e o azimute de 342º (Setor de Avidagos). Tal como acontecia na estrutura anterior, apesar de este intervalo ser bastante alargado, os dados encontram-se maioritariamente concentrados na parte superior dos diagramas de roseta. A observação deste indicador, permite assim, identificar para a lineação de interseção de 2ª fase uma orientação geral NNO-NNE.

A inclinação do vetor médio varia entre os valores de 11º (Setor de Franco) e 21º (Setor de Mihais-Abreiro). Como este último setor possui o menor conjunto de registos e todos os restantes setores apresentam valores de inclinação bastante semelhantes, é possível afirmar que a inclinação da lineação de interseção (li<sub>2</sub>) é claramente subhorizontal.

Observando o comprimento do vetor médio da variável direção verifica-se que o setor Milhais-Abreiro, talvez por apresentar um menor conjunto de registos, possui um comprimento de vetor médio inferior aos restantes setores. Pelo contrário, o setor de Passos apresenta um comprimento de vetor médio relativamente elevado em comparação com o intervalo médio dos restantes setores que se encontra entre 0,56-0,76.

Pelas razões apresentadas anteriormente, os setores apresentam baixa concentração e variância e desvio padrão circulares elevados e, por isso, intervalos de confiança alargados, com exceção do setor de Passos que possui as características opostas.

Relativamente à variável inclinação todos os setores apresentam um comprimento de vetor médio muito elevado ( $> 0,98$ ) possuindo, por isso, uma elevada concentração e variância e desvio padrão reduzidos. Naturalmente que, tendo em conta estas características, os intervalos de confiança desta variável para todos os setores serão pequenos.

Na direção da lineação de interseção de 2ª fase, os setores de Avidagos, Milhais-Abreiro e Pereira-Lamas de Orelhão são os setores que possuem maiores desvios entre o valor da mediana e o valor do vetor médio apresentando assim menor simetria distribucional. No que diz respeito à inclinação, todos os setores possuem valores muito semelhantes entre a mediana e o vetor médio apresentado e, por isso, uma simetria evidente em torno destes estatísticos de tendência central.

Tendo em conta as considerações tecidas nos parágrafos anteriores torna-se evidente a similitude entre a lineação de interseção de 2ª fase ( $li_2$ ) com os eixos de dobra da mesma fase ( $e_2$ ). Assim, as evidencias geológicas que fundamentam os resultados obtidos pela estatística circular na estrutura  $e_2$ , podem também ser invocadas para  $li_2$ .



**Figura 39:** Aspeto progressivo e rotacional (1,2 e 3) associado à evolução das dobras da 2ª fase de deformação em liditos da Fm dos Xistos Superiores (adap. Rodrigues, 2008).

Este facto é atestado por Rodrigues (Rodrigues, 2008) quando refere que: “A ocorrência simultânea desta lineação e de dobras mesoscópicas é comum, e

permite concluir que uma e outra são paralelas...” e ainda “... pode de imediato dizer-se que também a lineação de interseção de 2ª fase apresenta uma variação de orientação em tudo semelhante à dos eixos de dobras mesoscópicas.”



**Figura 40:** Dobramento de 2ª fase bastante desenvolvido, como comprova a sua geometria isoclinal. Afloramento de liditos e filitos cinzentos da Fm dos Xistos Superiores (adap. Rodrigues, 2008).



Figura 41: Representação gráfica da variável direção de  $l_2$  em todos os setores.

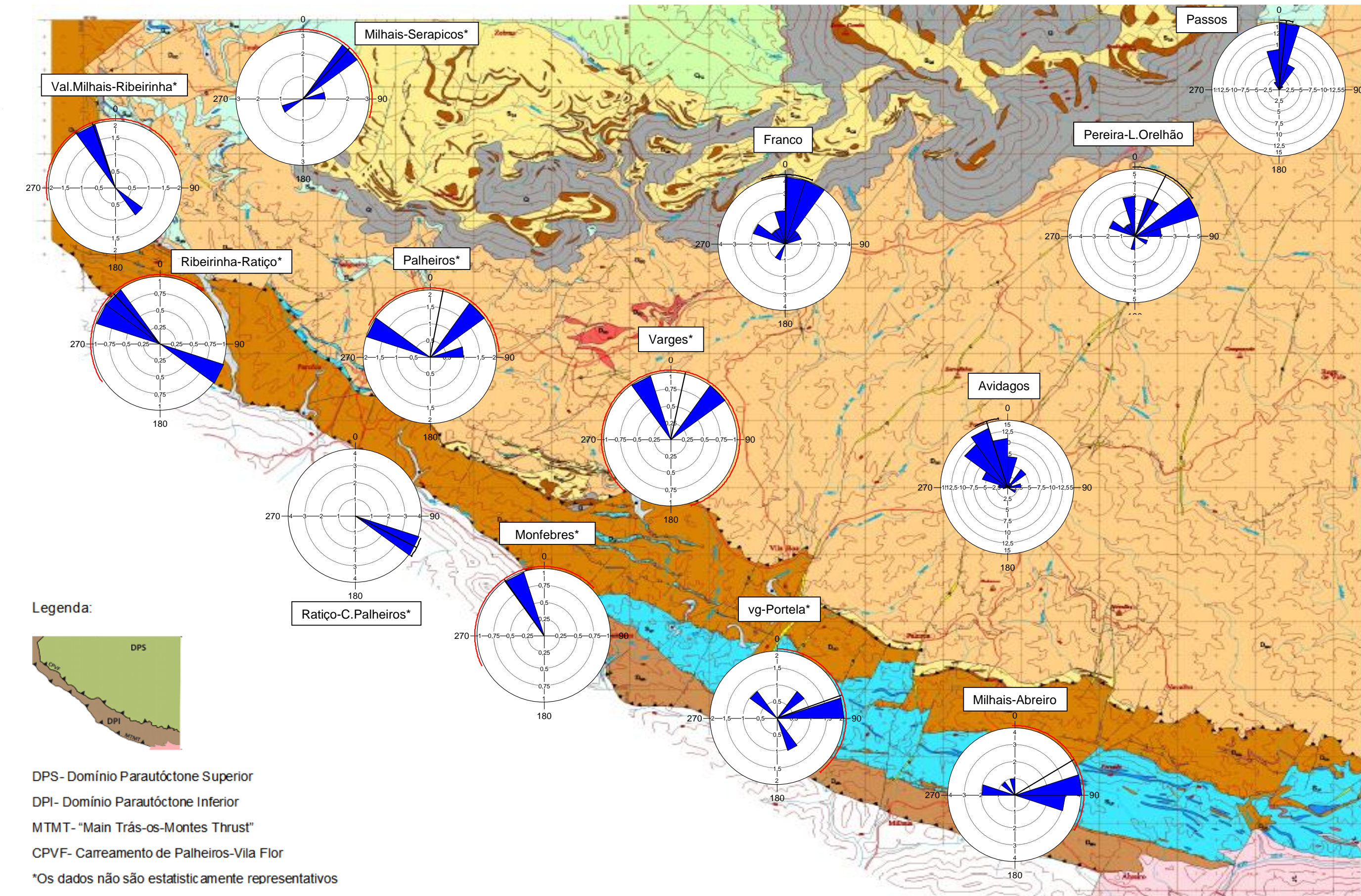
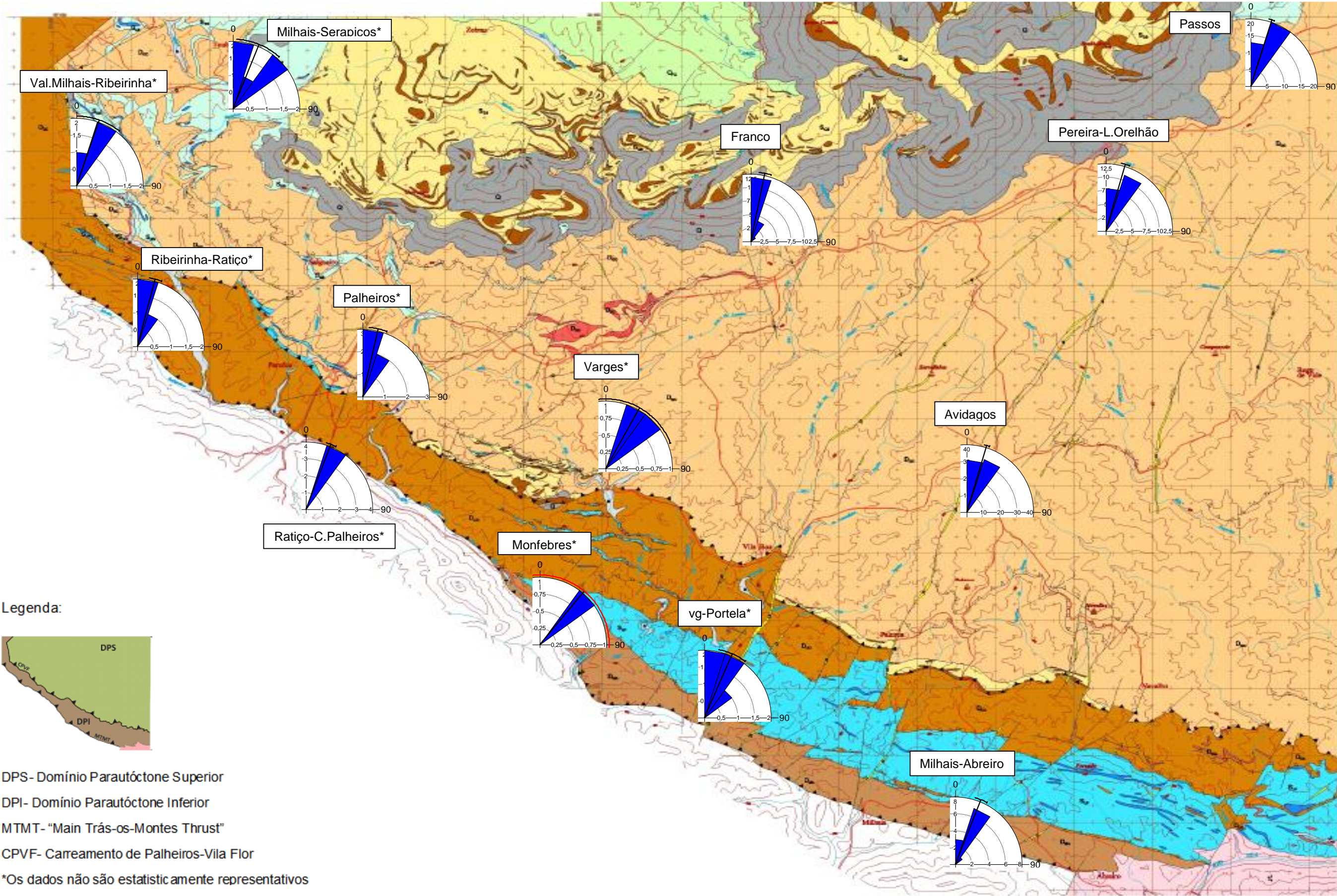




Figura 42: Representação gráfica da variável inclinação de  $l_2$  em todos os setores.





X2		Nº Observações	Vetor médio(°)	Comprimento Vetor Médio	Mediana(°)	Concentração	Variância Circular	Desvio Padrão Circular(°)	Intervalo de Confiança(°)			
									95% (-)	95% (+)	99% (-)	99% (+)
Avidagos	Direção	46	310,6	0,49	307	1,1	0,51	68,7	288,1	333,1	281,1	340,1
	Inclinação	46	12,7	0,99	12	45,1	0,01	8,6	10,3	15,2	9,5	16,0
Franco	Direção	10	116,1	0,58	110,5	1,3	0,42	59,4	75,5	156,7	62,8	169,5
	Inclinação	10	4,7	1,00	4	211,7	0,00	3,3	2,3	7,1	1,5	7,9
Milhais-Abreiro	Direção	18	62,2	0,30	85,5	0,6	0,70	88,9	1,3	123,1	342,1	142,2
	Inclinação	18	17,2	0,97	17	18,0	0,03	13,7	10,9	23,5	8,9	25,5
Milhais-Serapicos	Direção	*										
	Inclinação	*										
Monfobres	Direção	*										
	Inclinação	*										
Palheiros	Direção	*										
	Inclinação	*										
Passos	Direção	*										
	Inclinação	*										
Pereira-Lamas de Orelhão	Direção	*										
	Inclinação	*										
Ratiço-Castro de Palheiros	Direção	*										
	Inclinação	*										
Ribeirinha-Ratiço	Direção	*										
	Inclinação	*										
Valongo de Milhais-Ribeirinha	Direção	*										
	Inclinação	*										
Vargem	Direção	*										
	Inclinação	*										
vg-Portela	Direção	20	64,5	0,41	72	0,9	0,59	76,5	23,1	105,8	10,1	118,8
	Inclinação	20	16,0	0,98	14	26,7	0,02	11,2	11,1	20,9	9,5	22,4

\* Os dados não são estatisticamente representativos (insuficiência de dados)

**Tabela 6:** Estatísticos básicos da lineação mineral/estiramento de 2ª fase (x<sub>2</sub>)

**Lineação mineral/estiramento de 2ª fase( $x_2$ ):**

Observa-se na coluna do número de observações, entre os poucos setores que são estatisticamente representativos neste tipo de estrutura, que o setor de Franco possui o menor conjunto de registos sendo, por isso, necessária alguma parcimónia na interpretação dos estatísticos básicos daí decorrentes.

Embora as direções dos vetores médios tenham sido, amiúde, utilizadas para justificar e interpretar alguns pormenores geológico estruturais evidenciados, existe a consciência que, por vezes, este indicador estatístico não pode ser considerado como válido.

Este facto é particularmente notório quando o número de observações é reduzido o que torna o vetor médio, por vezes, descontextualizado da realidade das restantes observações. Exemplos do que acima foi referido são, para a lineação mineral/estiramento de 2ª fase ( $x_2$ ), os setores de Milhais-Abreiro e vg-Portela. Impõe-se então que, a análise estatística considere não o vetor médio resultante, mas sim a direção das classes de maior frequência.

Esta nova perspetiva permite agora identificar uma mesma direção (NO-SE e eventualmente ONO-ESE) para a totalidade dos 4 setores, estatisticamente representativos, para a estrutura em análise. Este tipo de estrutura apresenta uma elevada variância e desvio padrão circulares, uma reduzida concentração, como consequência da existência de azimutes complementares (a mesma direção mas sentidos opostos, vide figura 45, setores de Avidagos e Franco).

Relativamente à variável inclinação, cujo vetor médio varia entre os valores de 4° (Setor de Franco) e 17° (Setor de Milhais-Abreiro), é possível afirmar que a lineação mineral/estiramento de 2ª fase é claramente subhorizontal. O comprimento do vetor médio desta variável é bastante elevado, o que necessariamente implica a elevada concentração dos registos, reduzida variância e desvio padrão circulares e diminutos intervalos de confiança.

Na direção da lineação mineral/estiramento de 2ª fase, os setores de Milhais-Abreiro e vg-Portela destacam-se como sendo aqueles que possuem os maiores desvios entre o valor da mediana e o valor do vetor médio indicando, assim, elevada assimetria distribucional. Contudo, esta evidência que decorre na sequência das justificações atrás invocadas, e resulta, uma vez mais, da



existência de azimutes diametralmente opostos, deverá ser relativizada uma vez que são expectáveis baixas dispersões para este tipo de estrutura. Pelo contrário, relativamente à variável inclinação, é possível afirmar que os registos apresentam elevada simetria distribucional, tal é a semelhança entre os valores da mediana e do vetor médio em todos os setores.

Segundo Rodrigues (Rodrigues, 2008) esta fibrosidade ou lineação mineral surge mais desenvolvida e evidente nas áreas com forte deformação de  $F_2$ , nomeadamente junto aos planos de carreamento, nos quais  $S_2$ , já é uma superfície penetrativa. Destacam-se os casos do CPVF na zona de Avidagos, e do acidente interno que passa pelas povoações de Palorca e Navalho (povoações entre os setores de Avidagos e de Milhais-Abreiro), não sendo por isso, alheio o facto da maioria dos dados desta estrutura pertencerem aos setores que se encontram nos locais referidos anteriormente.



**Figura 43:** Lineação em quartzo na base do DPS junto ao CPVF. Direção do cisalhamento de topo para ESE. Afloramento de quartzitos milonitizados da Fm dos Quartzitos Superiores (adap. Rodrigues, 2008).

De acordo com Rodrigues (Rodrigues, 2008), nestes locais, o desenvolvimento de  $S_2$  é acompanhado por reorientação e blastese mineral permitindo admitir que esta lineação e o gradiente na intensidade da deformação de  $F_2$  estejam associados à movimentação ao longo dos acidentes e consequentemente ligados a uma forte componente de cisalhamento simples. Esta interpretação

torna-se bastante importante visto que permite considerar que a fibrosidade mineral em análise marque duas componentes fundamentais dos carreamentos: o estiramento implicado pela deformação interna da massa transportada (componente de distorção); e a direção de cisalhamento que corresponde à direção do transporte rígido de massa ao longo dos acidentes (componente translativa) (*ibidem*).



**Figura 44:** Ortoquartzito milonitizado junto ao CPVF. Os planos C' indicam movimento de topo para SE na foliação. Fm dos Quartzitos Superiores, Castro de Palheiros, Murça. (adap. Rodrigues, 2008).



Figura 45: Representação gráfica da variável direção de  $x_2$  em todos os setores.

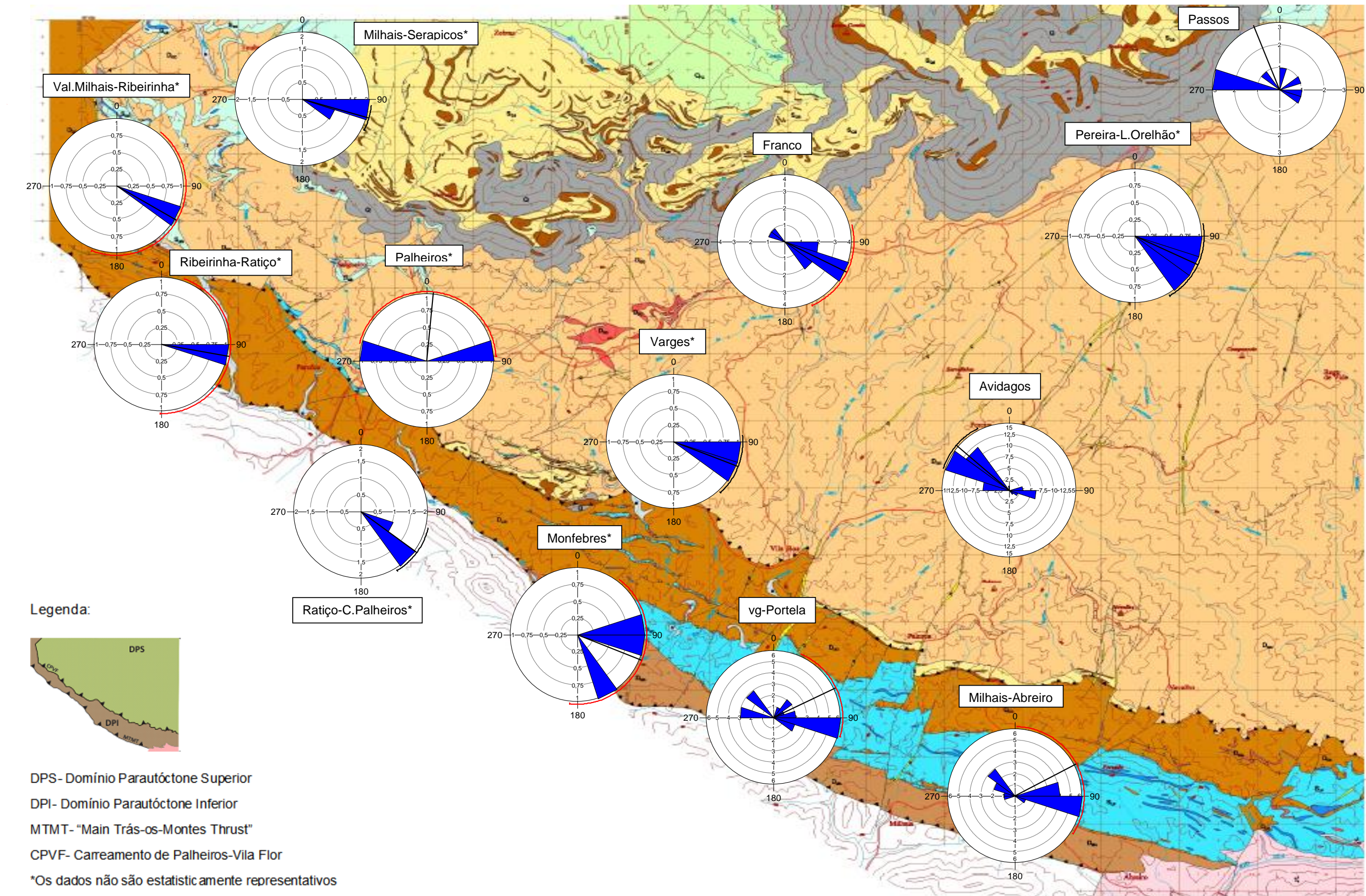
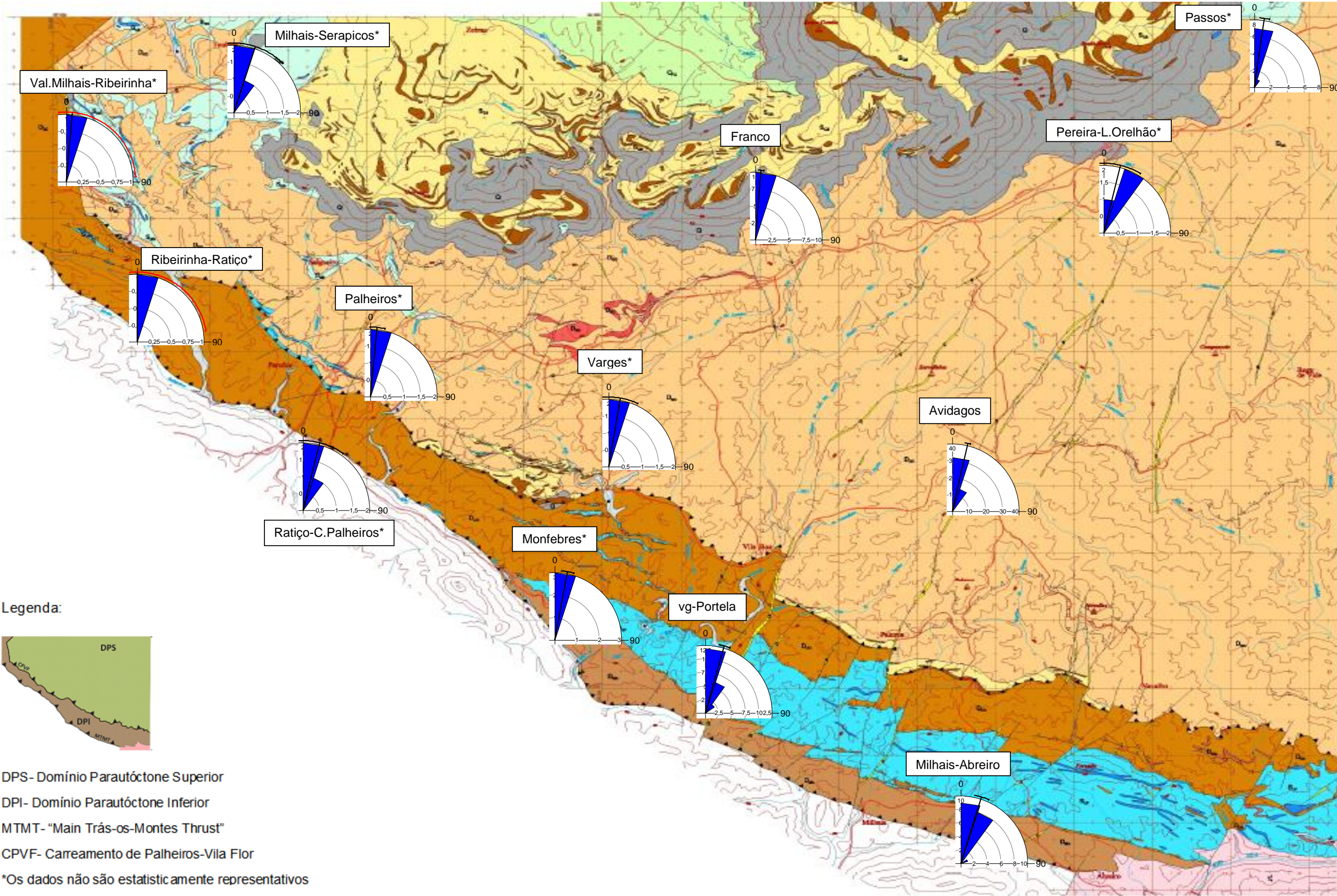




Figura 46: Representação gráfica da variável inclinação de  $x_2$  em todos os setores.





### 5.3 Discussão dos Resultados – Testes de Ajustamento

Neste subcapítulo está presente a interpretação dos valores obtidos nos testes de ajustamento realizados com base nos dados em estudo. Como cada teste é distinto e apresenta diferentes valores, a interpretação será realizada para todos os testes de ajustamento efetuados. Assim, serão apresentadas e interpretadas as tabelas com as respostas aos testes de ajustamento, respostas essas, dependentes das tabelas dos valores obtidos e que constam dos anexos a esta tese (Anexos 17 a 20).

A realização dos testes de ajustamento pressupõe os seguintes considerandos:

**- Teste de Rayleigh e Teste de Espaçamento de Rao:**

$H_0$ : A amostra distribui-se uniformemente em torno do círculo.

$H_1$ : A amostra não se distribui uniformemente em torno do círculo.

**- Teste de Watson e Teste de Kuiper:**

$H_0$ : A amostra provém de uma distribuição de von Mises.

$H_1$ : A amostra não provém de uma distribuição de von Mises.

**- Teste V:**

$H_0$ : A amostra segue uma distribuição uniforme.

$H_1$ : A amostra segue uma distribuição uniforme de média direcional específica.

O nível de significância adotado para os diferentes testes foi de 0,05.

**Coeficiente de correlação circular-circular:**

Este coeficiente varia entre -1 e 1 sendo que quanto mais próximo está da unidade, em módulo, mais forte é a correlação entre os dados. Assim, valores próximos de 0 apresentam correlações fracas enquanto valores próximos de -1 ou 1 evidenciam fortes correlações.

S <sub>2</sub>		Teste Rayleigh (Z) (p)	Teste Espaçamento Rao (U) (p)	Teste Watson U2 (von Mises, U2) (p)	Teste Kuiper (von Mises, V) (p)	Teste V (V); média exp 0,05° (u) (p)	Coeficiente Circ-Circ (r) (p)
Avidagos	Direção	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Não Rejeita H0	Rejeita H0	Fraco
	Inclinação	Rejeita H0	Rejeita H0	Não Rejeita H0	Não Rejeita H0	Rejeita H0	
Franco	Direção	Rejeita H0	Rejeita H0	Não Rejeita H0	Não Rejeita H0	Rejeita H0	Fraco
	Inclinação	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	
Milhais-Abreiro	Direção	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Fraco
	Inclinação	Rejeita H0	Rejeita H0	Não Rejeita H0	Não Rejeita H0	Rejeita H0	
Milhais-Serapicos	Direção	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Não Rejeita H0	Rejeita H0	Fraco
	Inclinação	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	
Monfegres	Direção	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Razoável
	Inclinação	Rejeita H0	Rejeita H0	Não Rejeita H0	Não Rejeita H0	Rejeita H0	
Palheiros	Direção	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Não Rejeita H0	Rejeita H0	Fraco
	Inclinação	Rejeita H0	Rejeita H0	Não Rejeita H0	Não Rejeita H0	Rejeita H0	
Passos	Direção	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Fraco
	Inclinação	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	
Pereira-Lamas de Orelhão	Direção	Rejeita H0	Rejeita H0	Não Rejeita H0	Não Rejeita H0	Rejeita H0	Fraco
	Inclinação	Rejeita H0	Rejeita H0	Não Rejeita H0	Não Rejeita H0	Rejeita H0	
Ratiço-Castro de Palheiros	Direção	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Não Rejeita H0	Rejeita H0	Fraco
	Inclinação	Rejeita H0	Rejeita H0	Não Rejeita H0	Não Rejeita H0	Rejeita H0	
Ribeirinha-Ratiço	Direção	Rejeita H0	Rejeita H0	Não Rejeita H0	Não Rejeita H0	Rejeita H0	Fraco
	Inclinação	Rejeita H0	Rejeita H0	Não Rejeita H0	Não Rejeita H0	Rejeita H0	
Valongo de Milhais-Ribeirinha	Direção	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Fraco
	Inclinação	Rejeita H0	Rejeita H0	Não Rejeita H0	Não Rejeita H0	Rejeita H0	
Vargues	Direção	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Não Rejeita H0	Rejeita H0	Fraco
	Inclinação	Rejeita H0	Rejeita H0	Não Rejeita H0	Não Rejeita H0	Rejeita H0	
vg-Portela	Direção	Rejeita H0	Rejeita H0	Não Rejeita H0	Não Rejeita H0	Rejeita H0	Fraco
	Inclinação	Rejeita H0	Rejeita H0	Não Rejeita H0	Não Rejeita H0	Rejeita H0	

Tabela 7: Resposta aos testes de ajustamento para S<sub>2</sub>.

A escala de coeficientes de correlação adotada no tratamento estatístico foi:

$0,0 \leq |r| < 0,4$  – coeficiente de correlação fraco

$0,4 \leq |r| < 0,6$  – coeficiente de correlação razoável

$0,6 \leq |r| < 0,8$  – coeficiente de correlação forte

$0,8 \leq |r| < 1,0$  – coeficiente de correlação muito forte

### **Foliação de 2ª fase (S<sub>2</sub>):**

Na coluna do teste de Rayleigh é possível constatar que os valores de todos os setores rejeitam  $H_0$ , ou seja, as diferentes amostras de dados não provêm de uma população com distribuição uniforme. Este facto, indica assim, que os dados evidenciam direções e inclinações não distribuídas uniformemente ao longo do círculo, sendo legítimo procurar investigar, a partir da constatação anterior, eventuais direções e inclinações preferenciais. Na coluna seguinte, com o teste de espaçamento de Rao, todas as afirmações anteriores são corroboradas.

Relativamente aos testes de Watson e Kuiper, em que ambos os testes utilizam a mesma hipótese nula, verifica-se uma concordância de resultados apenas com a exceção da variável direção dos setores de Avidagos e Milhais-Serapicos que apresentam resultados distintos em cada um dos testes.

Segundo estes testes, os setores de Palheiros, Pereira-Lamas de Orelhão, Ratiço-Castro de Palheiros, Ribeirinha-Ratiço, Vargues e vg-Portela possuem dados que provêm de uma população com distribuição de von-Mises enquanto que os dados do setor de Passos não provêm de uma distribuição de von-Mises. Nos restantes setores, uma das variáveis apresenta comportamento distinto, no entanto o resultado é o mesmo para ambos os testes.

Na coluna do teste V, com o mesmo propósito dos testes Rayleigh e Rao, verifica-se que os dados de todos os setores rejeitam  $H_0$ , ou seja, seguem uma distribuição uniforme com uma média direcional específica. Por fim, constata-se que apenas os dados do setor de Monfebres apresentam uma correlação razoável enquanto todos os outros setores apresentam correlações fracas, ou seja, valores reduzidos no coeficiente de correlação circular-circular.

e2		Teste Rayleigh (Z) (p)	Teste Espaçamento Rao (U) (p)	Teste Watson U2 (von Mises, U2) (p)	Teste Kuiper (von Mises, V) (p)	Teste V (V); média exp 0,05° (u) (p)	Coefficiente Circ-Circ (r) (p)
Avidagos	Direção	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	Fraco
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	
Franco	Direção	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	Razoável
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	
Milhais-Abreiro	Direção	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Fraco
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	
Milhais-Serapicos	Direção	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	Fraco
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	
Monfresbres*							
Palheiros	Direção	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	Fraco
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	
Passos	Direção	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	Fraco
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	
Pereira-Lamas de Orelhão	Direção	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	Razoável
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	
Ratiço-Crasto de Palheiros*							
Ribeirinha-Ratiço*							
Valongo de Milhais-Ribeirinha*							
Varges	Direção	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	Razoável
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	
vg-Portela	Direção	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	Fraco
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	

\* Os dados não são estatisticamente representativos (insuficiência de dados)

**Tabela 8:** Resposta aos testes de ajustamento para e2



**Eixos de dobra (e<sub>2</sub>):**

Uma primeira consideração acerca dos resultados obtidos, está relacionada com a insuficiência de dados, em determinados setores, que inviabilizaram a realização dos respetivos testes de ajustamento.

Observando os dois primeiros testes da tabela 8 verifica-se que praticamente todos os setores rejeitam a hipótese nula em ambos os testes, indicando assim que os dados não provêm de uma população com distribuição uniforme. Exceção a esta tendência geral, é o setor de Vargues, cujos dados da variável direção não rejeitam a hipótese dos registos provirem de uma população com distribuição uniforme. Este facto é suportado pela não rejeição de  $H_0$  do teste de espaçamento de Rao. Contudo, este aparente ajustamento dos dados à distribuição uniforme carece de investigação mais aprofundada uma vez que o número de registos analisados é reduzido.

Nos testes de Watson e Kuiper, tal como acontecia para a foliação de 2ª fase, os setores apresentam resultados muito semelhantes em ambos os testes, com exceção do setor de Avidagos, cujos dados da variável direção, segundo o teste de Watson, indica o não ajustamento dos dados a uma distribuição de von-Mises.

Ao interpretar os dois testes em simultâneo verifica-se que as amostras dos setores de Franco, Passos, Pereira-Lamas de Orelhão e vg-Portela provêm de uma distribuição de von-Mises. Relativamente aos restantes setores, constata-se que apresentam resultados distintos para as suas variáveis mas iguais em ambos os testes.

Na coluna do teste V, tal como acontecia igualmente para a foliação de 2ª fase, todas as amostras provenientes dos diferentes setores não seguem uma distribuição uniforme, ou seja, rejeitam a hipótese  $H_0$ . Faz-se notar que embora aparentemente com os mesmos objetivos o teste V estipula para hipótese alternativa, contrariamente aos testes de Rayleigh e Rao, que a amostra provêm de uma população com distribuição uniforme de média direcional específica.

Os setores de Franco, Pereira-Lamas de Orelhão e Vargues apresentam uma razoável correlação circular-circular ao contrário de todos os outros setores, cujas correlações são fracas.

l <sub>12</sub>		Teste Rayleigh (Z) (p)	Teste Espaçamento Rao (U) (p)	Teste Watson U2 (von Mises, U2) (p)	Teste Kuiper (von Mises, V) (p)	Teste V (V); média exp 0,05° (u) (p)	Coeficiente Circ-Circ (r) (p)
Avidagos	Direção	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	Fraco
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	
Franco	Direção	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	Fraco
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	
Milhais-Abreiro	Direção	Não Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	Razoável
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	
Milhais-Serapicos*							
Monfobres*							
Palheiros*							
Passos	Direção	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	Razoável
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	
Pereira-Lamas de Orelhão	Direção	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	Fraco
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	
Ratiço-Castro de Palheiros*							
Ribeirinha-Ratiço*							
Valongo de Milhais-Ribeirinha*							
Varges*							
vg-Portela*							

\* Os dados não são estatisticamente representativos (insuficiência de dados)

Tabela 9: Resposta aos testes de ajustamento para l<sub>12</sub>

### **Lineação de interseção ( $li_2$ ):**

Observando os dois primeiros testes da tabela 9 constata-se que a lineação de interseção de 2ª fase segue a tendência geral apresentada pelas estruturas anteriores. Assim, é possível constatar que praticamente os dados de todos os setores não se ajustam ao pressuposto de uniformidade distribucional estabelecido pela hipótese nula, ou seja, rejeitam a hipótese  $H_0$ .

Exceção a esta tendência, são os dados da variável direção do setor Milhais-Abreiro que segundo o teste de Rayleigh possuem uma distribuição uniforme. Uma vez mais e para esta última consideração, poder-se-á invocar a inconclusividade do teste face ao reduzido número de registos analisados.

Ao contrário do que era comum nas outras estruturas, na lineação de interseção de 2ª fase, os setores apresentam resultados distintos nos testes de Watson e de Kuiper apesar de ambos possuírem as mesmas hipóteses de investigação.

No teste de Kuiper, todos os dados, com exceção dos pertencentes à variável inclinação do setor de Pereira-Lamas de Orelhão, provêm de uma distribuição de von-Mises. No entanto, o comportamento destes mesmos dados no teste de Watson mostra-se bastante distinto com os dados da variável direção dos setores de Avidagos e Milhais-Abreiro e da variável inclinação dos setores de Franco e Passos a indicarem que as amostras não provêm de uma distribuição de von-Mises.

A esta evidência não deve ser estranho o facto, já anteriormente invocado, da existência de dobras em bainha ou de eixo curvo com uma evolução progressiva e rotacional.

No teste V, os resultados são iguais aos verificados para as estruturas anteriores, com os dados de todos os setores a indicarem que não seguem uma distribuição uniforme e por esse motivo, rejeitam a hipótese nula.

No coeficiente de correlação circular-circular destacam-se os setores de Milhais-Abreiro e Passos por apresentarem uma correlação razoável.

X2		Teste Rayleigh		Teste Espaçamento Rao		Teste Watson U2		Teste Kuiper		Teste V			Coeficiente Circ-Circ	
		(Z)	(p)	(U)	(p)	(von Mises, U2)	(p)	(von Mises, V)	(p)	(V); média exp 0,05°	(u)	(p)	(r)	(p)
Avidagos	Direção	Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0				
	Inclinação	Rejeito H0		Rejeito H0		Não Rejeito H0		Não Rejeito H0		Rejeito H0				Fraco
Franco	Direção	Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Não Rejeito H0				
	Inclinação	Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0				Fraco
Milhais-Abreiro	Direção	Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0				
	Inclinação	Rejeito H0		Rejeito H0		Não Rejeito H0		Não Rejeito H0		Rejeito H0				Fraco
Milhais-Serapicos*														
Monfegres*														
Palheiros*														
Passos*														
Pereira-Lamas de Orelhão*														
Ratiço-Castro de Palheiros*														
Ribeirinha-Ratiço*														
Valongo de Milhais-Ribeirinha*														
Varges*														
vg-Portela	Direção	Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Não Rejeito H0		Rejeito H0				
	Inclinação	Rejeito H0		Rejeito H0		Não Rejeito H0		Não Rejeito H0		Rejeito H0				Fraco

\* Os dados não são estatisticamente representativos (insuficiência de dados)

Tabela 10: Resposta aos testes de ajustamento para x2

### **Lineação mineral/estiramento de 2ª fase ( $x_2$ ):**

Observando os resultados do teste de Rayleigh e do teste de espaçamento de Rao verifica-se que todos os setores, em ambos os testes, não se distribuem uniformemente ao longo do círculo. Este facto, não será alheio à evidente orientação geral e a inclinação média demonstradas pelas variáveis da estrutura em análise, tal como já foi referido anteriormente.

Relativamente aos testes de Watson e de Kuiper constata-se que os dados apresentam um comportamento muito semelhante em ambos os testes. Exceção a esta tendência são os dados da variável direção do setor vg-Portela que apresenta ambiguidade no que respeita ao ajustamento da distribuição de von-Mises.

De forma geral e pondo de parte a exceção referida na linha anterior, na lineação mineral/estiramento de 2ª fase, os dados da variável direção não são ajustados por uma distribuição de von-Mises enquanto que os dados da variável inclinação, de uma maneira geral, não rejeitam a hipótese de terem origem numa população com distribuição de von-Mises.

Na coluna do teste V destaca-se o resultado dos dados pertencentes à variável direção do setor de Franco que não rejeitam a hipótese  $H_0$ , ou seja, estes dados seguem uma distribuição uniforme. Uma vez mais para este caso poder-se-á invocar a reduzida representatividade em termos de número de registos e a consequente incerteza dos resultados obtidos.

Por fim, verifica-se que todos os setores possuem uma correlação circular-circular fraca.

## **5.4 Coeficiente de correlação circular-circular entre as estruturas analisadas**

Observando os resultados obtidos anteriormente para o coeficiente de correlação circular-circular, verifica-se que o grau de associação entre as variáveis (direção vs inclinação) nos diferentes setores é sempre reduzido em todas as estruturas.

Tendo consciência que o coeficiente de correlação não legitima relações de causa-efeito mas tão-somente associações entre pares de valores, a leitura

ponderada dos diferentes coeficientes de correlação circular-circular poderá sugerir/indicar associações com significado geológico.

Desta forma e tendo como balizas a escala de valores do coeficiente de correlação circular-circular ( $r$ ) que constam da página 63, procurou-se estender a determinação do grau de associação a todas as estruturas geológicas envolvidas neste estudo independentemente dos setores.

Por este motivo, optou-se por alterar o campo de aplicação deste coeficiente de forma a avaliar apenas o grau de associação entre as diferentes estruturas, ou seja, estão incluídos os dados de todos os setores dentro de cada estrutura. Os resultados obtidos para esta nova avaliação do coeficiente circular-circular encontram-se representados na tabela 11.

**Tabela 11:** Matriz de correlações circular-circular entre as diferentes estruturas analisadas.

	Direcção S2	Inclinação S2	Direcção e2	Inclinação e2	Direcção li2	Inclinação li2	Direcção x2	Inclinação x2
Direcção S2	---							
Inclinação S2	0,325	---						
Direcção e2	0,105	0,645	---					
Inclinação e2	-0,412	0,419	0,438	---				
Direcção li2	-0,218	0,748	0,884	0,463	---			
Inclinação li2	-0,694	0,901	0,680	0,977	0,640	---		
Direcção x2	0,693	-0,021	0,078	-0,290	0,184	-0,311	---	
Inclinação x2	-0,593	0,867	0,798	0,906	0,593	0,989	-0,404	---

Verifica-se na tabela 11 que existem associações significativas, destacadas a vermelho, entre as variáveis das estruturas em estudo. Estas associações podem ser menos expressivas como é o caso por exemplo, entre a inclinação  $x_2$  e a direcção  $S_2$ , ou muito fortes como no caso da inclinação  $x_2$  com a inclinação  $li_2$ . De uma forma geral, destacam-se as fortes associações que quer a inclinação de  $li_2$ , quer a inclinação de  $x_2$  apresentam em relação a todas as outras variáveis. A similitude entre os eixos de dobra de 2ª fase e a lineação de intersecção da mesma fase, que foi referida e justificada anteriormente, encontra-se aqui evidenciada nos elevados valores de associação obtidos para o coeficiente circular-circular. Neste trabalho, todos os valores do coeficiente de correlação circular-circular entre as variáveis do mesmo setor e da mesma estrutura foram muito reduzidos, enquanto os valores deste mesmo coeficiente entre as diferentes estruturas foram, na maioria, elevados e por isso, evidenciaram associações fortes.

## 6 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

### 6.1 Conclusões

Para além das conclusões parcelares que ao longo desta tese foram sendo referidas, impõe-se agora, em jeito de balanço, assinalar as grandes conclusões que resultam do trabalho efetuado.

Uma primeira constatação vai para o notável contributo que a estatística circular demonstra no estudo do tipo de dados geológicos em análise, revelando esta abordagem a sua plena propriedade na aplicação do tratamento estatístico aos dados da direção/inclinação das estruturas geológicas regionais pertencentes a diferentes fases de deformação dúctil varisca.

Tendo em conta o que foi dito ao longo deste trabalho e recorrendo aos resultados obtidos através das ferramentas estatísticas, prova-se aqui que é possível estabelecer uma associação entre os indicadores estatísticos e as interpretações decorrentes do modelo geológico estrutural.

Prova do que acima foi referido é o fator “distância” (proximidade vs afastamento) dos setores aos grandes acidentes de cisalhamento, que apresenta uma clara tradução nos indicadores estatísticos, fundamentalmente nas medidas de dispersão e concentração (noção do atrator da fábrica). Quanto maior a distância do setor em estudo face aos grandes acidentes maior a dispersão dos dados. Também este fenómeno de proximidade/afastamento parece ter reflexos nos testes de ajustamento, em particular, no ajuste à lei de distribuição de von-Mises verificando-se o aumento de incerteza com o aumento da distância aos grandes acidentes de cisalhamento.

Como cada região possui a sua própria história geológica frequentemente de difícil interpretação apenas com base nos dados recolhidos no campo, as ferramentas da estatística circular podem desempenhar, neste contexto, um papel importante na interpretação da história geológica e eventualmente na justificação do modelo geológico estrutural proposto.

No decurso deste trabalho, as ferramentas estatísticas utilizadas demonstraram ser possível evidenciar não só a orientação geral e a inclinação média das

estruturas em estudo mas também identificar a variabilidade intrínseca aos próprios dados. Esta abordagem, sendo global, permite no entanto assinalar comportamentos anómalos de determinados setores em relação ao comportamento geral manifestado pela maioria dos setores. Estes afastamentos em relação ao comportamento médio despertam a necessidade de encontrar justificações fenomenológicas (leia-se outras interpretações geológicas) que estejam de acordo com as observações.

Os testes de ajustamento e em particular os que pressupõem a hipótese de uniformidade distribucional dos dados, quando rejeitada, constituem preciosos indicadores de eventuais direções e inclinações preferenciais que importa conhecer. Por outro lado, a justeza de aproximações dos dados a distribuições teóricas conhecidas, haja em vista o resultado dos testes de ajustamento à distribuição de von-Mises, legitimam a abordagem probabilística dos elementos analisados.

Pretende-se mostrar com este trabalho que um estudo baseado em dados de campo e posterior análise estatística, na vertente da estatística circular, pode contribuir para a interpretação da história geológica de uma dada região. Conseguiu-se também confirmar, o conhecimento geológico prévio sobre a região em estudo com o auxílio da estatística circular.

## **6.2 Perspetivas Futuras**

Por falta de tempo não foi possível analisar mais dados e ir um pouco mais longe, de encontro à interpretação da 1ª e 3ª fases de deformação dúctil varisca com maior expressividade na outra metade da carta geológica utilizada, sendo que deste modo e em desenvolvimentos futuros seria interessante partir do que até aqui foi feito e avançar para essa interpretação.

Procurar-se-ia com estes novos dados, confirmar a utilidade dos indicadores estatísticos obtidos, verificar a sua possível generalização interpretativa dos fenómenos geológico estruturais em estudo e avançar, de forma mais sustentada, para uma maior interligação entre a geologia e a estatística.

Desta forma, caso os resultados sejam concordantes com os obtidos neste trabalho, ou seja, os indicadores e testes da estatística circular estão de acordo



com as interpretações decorrentes do modelo geológico estrutural da região, poder-se-á, no futuro, utilizar a metodologia agora sugerida, na interpretação de novas regiões cujo modelo geológico estrutural ainda não esteja totalmente definido.

A mais do que evidente associação, entre alguns dos dados estudados e leis de distribuição teórica, perspetiva uma nova abordagem metodológica que passará certamente por simulações estocásticas com base nas leis de distribuição identificadas.

Ultrapassados e esclarecidos alguns constrangimentos teóricos que a aplicação da geoestatística impõe, nomeadamente a estacionariedade de 2ª ordem e a hipótese intrínseca, os registos agora estudados poderão ser considerados como variáveis regionalizadas e desta forma abrir o mundo das metodologias geoestatísticas ao tratamento de dados circulares. Esta será seguramente uma inovadora mas ciclópica nova perspetiva futura.



## 7 BIBLIOGRAFIA

Arnold, T. e Emerson, J., (2011) – *Nonparametric Goodness-of-Fit Tests for Discrete Null Distributions*, The R Journal Vol 3/2, ISSN 2073-4859.

Batschelet, E., (1981) – *Circular statistics in biology*, Academic Press, London, 372 pp.

Bowers, J., Morton, I., Mould, G., (2000) – *Directional statistics of the wind and waves*, Applied Ocean Research, 22, Nº1, 13-30.

Carneiro, C., Carvalho, A., Bianchini, A., (2014) – *Dobras poli-harmônicas e estilos de dobramento em rochas carbonáticas da Mina de Salto de Pirapora, Votorantim, SP*. Terraedidat.,Campinas, v.10, n.2.

Carreras, J., e Estrada, A., e White, S., (1977) – *The effects of folding on the C-axis fabrics of a quartz mylonite*. Tectonophysics, 38: 223-239.

Carvalho, J., (2010) – *Estudo da fracturação de um maciço rochoso granítico para uma possível implementação de pedreira de rocha ornamental*. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia de Minas, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 103pp.

Coe, A., Argles T., Rothery D., Spicer R., (2010) – *Geological Field Techniques*. Department of Earth and Environmental Sciences, The Open University, Walton Hall, Milton Keynes, UK. Blackwell Publishing Ltd 323pp.

Cox, D., Lewis, P., (1966) – *The Statistical Analysis of Series of Events*. Ann. Math. Statist. 37, no. 6, 1852--1853.

Cressie, N., (1991) – *Spatial statistics and digital image analysis*, Cap.5: Geostatistical Analysis of Spatial Data, National Academy Press, Washington D. C., pp. 87-108.

Cressie, N., (1992) – *Statistics for spatial data*, John Wiley & Sons, New York, 900 pp.

Davis, J. and Sampson, R., (2002) – *Statistics and Data Analysis in Geology*, John Wiley & Sons, New York.

Dias, R., Rocha, R., Kullberg, J., Ribeiro, A., Fonseca, M., (2014) – *Os ciclos de Wilson numa perspectiva da CPLP: um contributo para o ensino da Geologia nos países lusófonos*, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Comunicações Geológicas 101, Especial III, 1251-1253.

Emlen, S., (1967) – *Migratory Orientation in the Indigo Bunting, *Passerina cyanea*. Part II: Mechanism of Celestial Orientation*. The Auk, Vol.84, No. 4, pp. 463-489.

Escher, A. e Watterson, J., (1974) – *Stretching fabrics, folds and crustal shortening*. Tectonophysics, 22: 223-231.

Farias, P. e Marquínez, J., (1986) – *Nuevos datos sobre la estructura geologica del área de Verín (Galicia)*. Brev. Geol. Ast., XXVII (1-2): 1-11.

Farias, P., (1987) – *La estructura herciniana del sector oriental del Sinclinal de Verín. Los cabalgamientos de Verín y Pradocabalos*. Cuad. Lab. Xeol. Laxe, 11: 295-303.

Fisher, N. I., (1993) – *Statistical analysis of circular data*, Cambridge University Press, Cambridge, 277 pp.

Fossen H., (2010) – *Structural Geology*. Cambridge University Press The Edinburgh Building, Cambridge CB2 8RU, UK.

Gaile, G., Willmott, C., (1984) – *Spatial Statistics and models*, Reidel Publishing Company, 482 pp.

Gallastegui, G., Martín Parra, L. M., Farias, P., Pablo Maciá, J. G. De e Rodriguez Fernandez, L. R., (1988) – *Las metavulcanitas del Dominio esquistoso de Galicia - Trás-os-Montes: petrografia, geoquímica y ambiente geotectónico (Galicia, NO de España)*. Cuad. Lab. Xeol. Laxe, 12: 127 – 139.

Góis, J., (2002) – *Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana*. Tese de Douturamento, Departamento de Engenharia de Minas, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Jammalamadaka, S. e Sengupta, A., (2001) – *Topics in Circular Statistics (Series on Multivariate Analysis)*, World Scientific, Singapore, 319 pp.

Johnson, R., Wehrly, T., (1977) – *Measures and models for angular correlation and angular-linear regression*. Journal Royal Statistical Society, Series B 39 (2), 222–229.

Krumbein, W. C., (1939) – *Preferred orientation of pebbles in sedimentary deposits*, J. Geol., 47, 673–706.

Kuiper, N. H. (1960) – *Tests concerning random points on a circle*. Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Series A [S.I.: s.n.] 63: 38–47.

Kullberg, M. e Silva, J., (1983) – *Utilização da Bússola de Geólogo*. Textos e documentos de apoio ao ensino. Departamento de Geologia. Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra.

Lark, R. M., Clifford, D., Waters, C. N. (2014) – *Modelling complex geological circular data with the projected normal distribution and mixtures of von Mises distributions*, Solid Earth, 5, 631–639.

Lotze, F., (1945) – Zur Gliderung der Varisziden in der Iberischen Meseta. Geotekt. Forsch., 6: 78-92.

Mardia, K. V. e Jupp, P. E., (2000) – *Directional Statistics*, John Wiley & Sons, 2<sup>nd</sup> Edition, Chischester, 429 pp.

Marquínez, J., 1984. *La geología del área esquistosa de Galicia Central (Cordillera Herciniana, NW de España)*. Memorias del Instituto geologico y Minero de España, 100, 231pp.

Matte, P., (1991) – *Accretionary history and crustal evolution of the Variscan belt in Western Europe*. Tectonophysics, 196: 309-337.

Mies, J., (1991) – *Planar dispersion of folds in ductile shear zones and kinematic interpretation of fold-hinge girdles*. Journal of Structural Geology, 13: 281-297.

Minors, D., Waterhouse, J., (1981) – *Endogenous and exogenous components of circadian rhythms when living on a 21-hour day*. International journal of chronobiology, 8(1):31-48.

Moore, R. J. e Twiss, E. M., (1995) – *Tectonics*. Freeman & Company, 415pp.

Pereira, E. e Ribeiro, A., (1983) – *Tectónica do sector noroeste da Serra do Marão*. Com. Serv. Geol. Port., 69(2): 283-290.

Pereira, E., (1987) – *Estudo geológico-estrutural da área de Celorico de Basto e sua interpretação geodinâmica*. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, 274pp.

Pinotti, A. e Carneiro, C., (2013) – *Geologia Estrutural na previsão e contenção de queda de blocos em encostas: aplicação no Granito Santos, SP*. Terrae didat., vol.9, no.2, p.132-168. ISSN 1980-4407.

Rao, J., (1969) – *Some contributions to the analysis of circular data*, Ph.D, thesis, Indian Statistical Institute, Calcutta.

Ribeiro, A., (1974) – *Contribution à l'étude tectonique de Trás-os-Montes Oriental*. Serv. Geol. Port., Mem. 24, 168pp.

Ribeiro, A., Antunes, M. T., Ferreira, M. P., Rocha, R. B., Soares, A. F., Zbyszewski, G., Moitinho de Almeida, F., Carvalho, D. e Monteiro, J. H., (1979) – *Introduction à la géologie générale du Portugal*. Serviços Geológicos de Portugal, 114pp.

Ribeiro, A., Pereira, E. e Dias, R., (1990) – *Central Iberian Zone: Allochthonous Sequences*. In: R. D. Dallmeyer e E. Martínez García (Eds.), *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Springer-Verlag, pp: 220-236.

Rodrigues, J., (2008) – *Estrutura do Arco da Serra de Santa Comba- Serra da Garraia: Parautóctone de Trás-os-Montes*. Tese de Douturamento em Geologia-Especialidade em Geodinâmica Interna, Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 308pp.

Sá, J., (2003) – *Applied statistics using SPSS, STATISTICA and MATLAB*, Springer, 452 pp.

Scoot, A., (2002) – *Circular Data: An overview with discussion of One-Sample Tests*. Department of Mathematical Sciences, Montana State University, Bozeman, Montana.

Sen, K. e Mamtani, M., (2006) – Magnetic fabric, shape preferred orientation and regional strain in granitic rocks, *Journal of Structural Geology*, 28, 1870–1882.

Shoji, T., (2002) – *Statistical and geostatistical analysis of wind: A case study of direction statistics*, *Symposium sur la théorie, les traitements et les applications des données Géospaciales*, Ottawa.

Silva, F., (2001) – *Aplicação de métodos geoestatísticos na caracterização espacial de fenómenos naturais*, IV Jornadas sobre Ambiente e Qualidade, Univ. Moderna, Porto, pp. 135-144.

Skjernaa, L., (1989) – *Tubular folds and sheath folds: definitions and conceptual models for their development, with examples from the Grapesvare área, northern Sweden*. Journal of Structural Geology, 11: 689-703.

Takeshita, D., e Gale, J., e Montgomery, E., e Bahar, S., e Moss, F., (2009) – *Analyzing spike trains with circular statistics*, American Journal of Physics, 77, 424-429.

Watson, G., (1961) – *Goodness of fit tests on a circle I*, Biometrika, 48, 109-114.

Williams, G., (1978) – *Rotation of contemporary folds into the X direction during overthrust processes in Laksfjord, Finnmark*. Tectonophysics, 48: 29-40.

#### **REFERÊNCIAS WEB:**

Barbosa, S., (2013) – Estatística para dados direccionais, Análise de dados em Geociências, Mestrado em Ciências Geofísicas 2013-2014, Universidade de Lisboa. Disponível em: <[https://moodle-arquivo.ciencias.ulisboa.pt/1314/pluginfile.php/84063/mod\\_resource/content/1/slidesCircular.pdf](https://moodle-arquivo.ciencias.ulisboa.pt/1314/pluginfile.php/84063/mod_resource/content/1/slidesCircular.pdf)> Acesso a 15 de Outubro de 2016.

Salamuni, E. – *Estruturas Planares-Lineares*. Geologia Estrutural. Setor de Ciências da Terra. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <http://www.geologia.ufpr.br/graduacao2/estrutural/Aula9ESTRUTURASPLANARES.pdf>. Acesso em 20 de Maio de 2016.

Zimbres, E., (2008) – *Relação entre o rumo de mergulho de um plano e a sua direção*. Disponível em <<http://www.dicionario.pro.br/images/4/44/Rumo-do-mergulho.jpg>> Acesso em 3 out. 2016.



**ANEXOS**



## ANEXOS

## Estatísticos básicos de 1ª e 3ª fase de deformação varisca

S <sub>1</sub>		Nº Observações	Vetor média(°)	Comprimento Vetor Médio	Mediana(°)	Concentração	Variância Circular	Desvio Padrão Circular(°)	Intervalo de Confiança(°)			
									95% (-)	95% (+)	99% (-)	99% (+)
Avidagos	Direção	53	283,3	0,88	286	4,4	0,12	29,3	275,4	291,2	272,9	293,6
	Inclinação	53	27,3	0,99	25	33,6	0,02	10,0	24,7	30,0	23,8	30,9
Franco	Direção	44	288,0	0,81	291	3,0	0,19	37,4	277,0	298,9	273,6	302,4
	Inclinação	44	23,5	0,99	24	45,0	0,01	8,6	20,9	26,0	20,1	26,8
Milhais-Abreiro	Direção	102	275,0	0,94	276	9,1	0,06	19,6	271,2	278,8	270,0	280,0
	Inclinação	102	48,5	0,98	48	24,4	0,02	11,7	46,2	50,8	45,5	51,5
Milhais-Serapicos	Direção	73	296,1	0,69	300	1,9	0,32	49,9	284,6	307,6	281,0	311,2
	Inclinação	73	30,3	0,98	30	25,0	0,02	11,6	27,7	33,0	26,8	33,8
Montebres	Direção	63	286,7	0,96	284	12,6	0,04	16,5	282,6	290,8	281,4	292,1
	Inclinação	63	54,7	0,99	52	33,4	0,02	10,0	52,2	57,1	51,4	57,9
Palheiros	Direção	145	288,3	0,91	289	5,8	0,09	25,0	284,3	292,4	283,0	293,7
	Inclinação	145	29,3	0,98	30	31,2	0,02	10,3	27,6	31,0	27,1	31,5
Passos	Direção	41	297,1	0,91	295	5,5	0,10	25,7	289,3	305,0	286,8	307,5
	Inclinação	41	28,3	0,98	28	28,3	0,02	10,9	24,9	31,6	23,9	32,6
Pereira-Lamas de Orelhão	Direção	29	297,1	0,90	297	5,1	0,10	26,8	287,4	306,9	284,4	309,9
	Inclinação	29	22,9	0,99	22	33,2	0,02	10,0	19,3	26,6	18,1	27,7
Ratiço-Castro de Palheiros	Direção	73	302,1	0,95	300	10,1	0,05	18,5	297,9	306,4	296,6	307,7
	Inclinação	73	52,3	0,98	50	25,7	0,02	11,4	49,7	54,9	48,9	55,7
Ribeirinha-Ratiço	Direção	12	292,3	0,96	293,5	8,9	0,04	17,2	281,1	303,4	277,6	306,9
	Inclinação	12	58,9	0,99	59,5	37,3	0,01	8,2	53,5	64,2	51,8	65,9
Valongo de Milhais-Ribeirinha	Direção	*										
	Inclinação	*										
Varges	Direção	18	305,1	0,93	302,5	7,7	0,07	21,4	295,2	314,9	292,1	318,0
	Inclinação	18	29,0	0,98	24,5	26,5	0,02	11,2	23,9	34,2	22,2	35,9
vg-Portela	Direção	34	291,3	0,95	293	10,2	0,05	18,4	285,1	297,5	283,1	299,4
	Inclinação	34	50,3	0,97	50	17,1	0,03	14,1	45,5	55,0	44,1	56,5

\* Os dados não são estatisticamente representativos (insuficiência de registos)

Anexo 1: Estatísticos básicos da foliação de 1ª fase (S<sub>1</sub>).

li <sub>1</sub>		Nº Observações	Vetor médio(°)	Comprimento Vetor Médio	Mediana(°)	Concentração	Variância Circular	Desvio Padrão Circular(°)	Intervalo de Confiança(°)			
									95% (-)	95% (+)	99% (-)	99% (+)
Avidagos	Direção	*										
	Inclinação	*										
Franco	Direção	*										
	Inclinação	*										
Milhais-Abreiro	Direção	13	82,0	0,97	83	14,9	0,03	13,3	73,8	90,2	71,3	92,8
	Inclinação	13	21,5	0,97	18	13,6	0,03	13,9	12,9	30,1	71,3	32,7
Milhais-Serapicos	Direção	*										
	Inclinação	*										
Montebres	Direção	*										
	Inclinação	*										
Palheiros	Direção	*										
	Inclinação	*										
Passos	Direção	*										
	Inclinação	*										
Pereira-Lamas de Orelhão	Direção	*										
	Inclinação	*										
Ratiço-Castro de Palheiros	Direção	*										
	Inclinação	*										
Ribeirinha-Ratiço	Direção	*										
	Inclinação	*										
Valongo de Milhais-Ribeirinha	Direção	*										
	Inclinação	*										
Vargues	Direção	*										
	Inclinação	*										
vg-Portela	Direção	*										
	Inclinação	*										

\* Os dados não são estatisticamente representativos (insuficiência de registos)

**Anexo 2:** Estatísticos básicos da lineação de interseção de 1ª fase (li<sub>1</sub>).

x1		Nº Observações	Vetor médio(°)	Comprimento Vetor Médio	Mediana(°)	Concentração	Variância Circular	Desvio Padrão Circular(°)	Intervalo de Confiança(°)			
									95% (-)	95% (+)	99% (-)	99% (+)
Avidagos	Direção	*										
	Inclinação	*										
Franco	Direção	*										
	Inclinação	*										
Milhais-Abreiro	Direção	16	79,3	0,63	87	1,6	0,37	55,1	51,7	107,0	43,0	115,7
	Inclinação	16	13,5	0,99	15,5	48,5	0,01	8,3	9,4	17,6	8,2	18,8
Milhais-Serapicos	Direção	*										
	Inclinação	*										
Montebres	Direção	*										
	Inclinação	*										
Palheiros	Direção	*										
	Inclinação	*										
Passos	Direção	*										
	Inclinação	*										
Pereira-Lamas de Orelhão	Direção	*										
	Inclinação	*										
Ratiço-Castro de Palheiros	Direção	12	312,2	0,66	312,5	1,7	0,34	52,5	281,3	343,1	271,6	352,8
	Inclinação	12	17,4	0,99	19	48,8	0,01	7,2	12,8	22,1	11,3	23,6
Ribeirinha-Ratiço	Direção	*										
	Inclinação	*										
Valongo de Milhais-Ribeirinha	Direção	*										
	Inclinação	*										
Vargues	Direção	*										
	Inclinação	*										
vg-Portela	Direção	*										
	Inclinação	*										

\* Os dados não são estatisticamente representativos (insuficiência de registos)

**Anexo 3:** Estatísticos básicos da lineação mineral/estiramento de 1ª fase (x<sub>1</sub>).

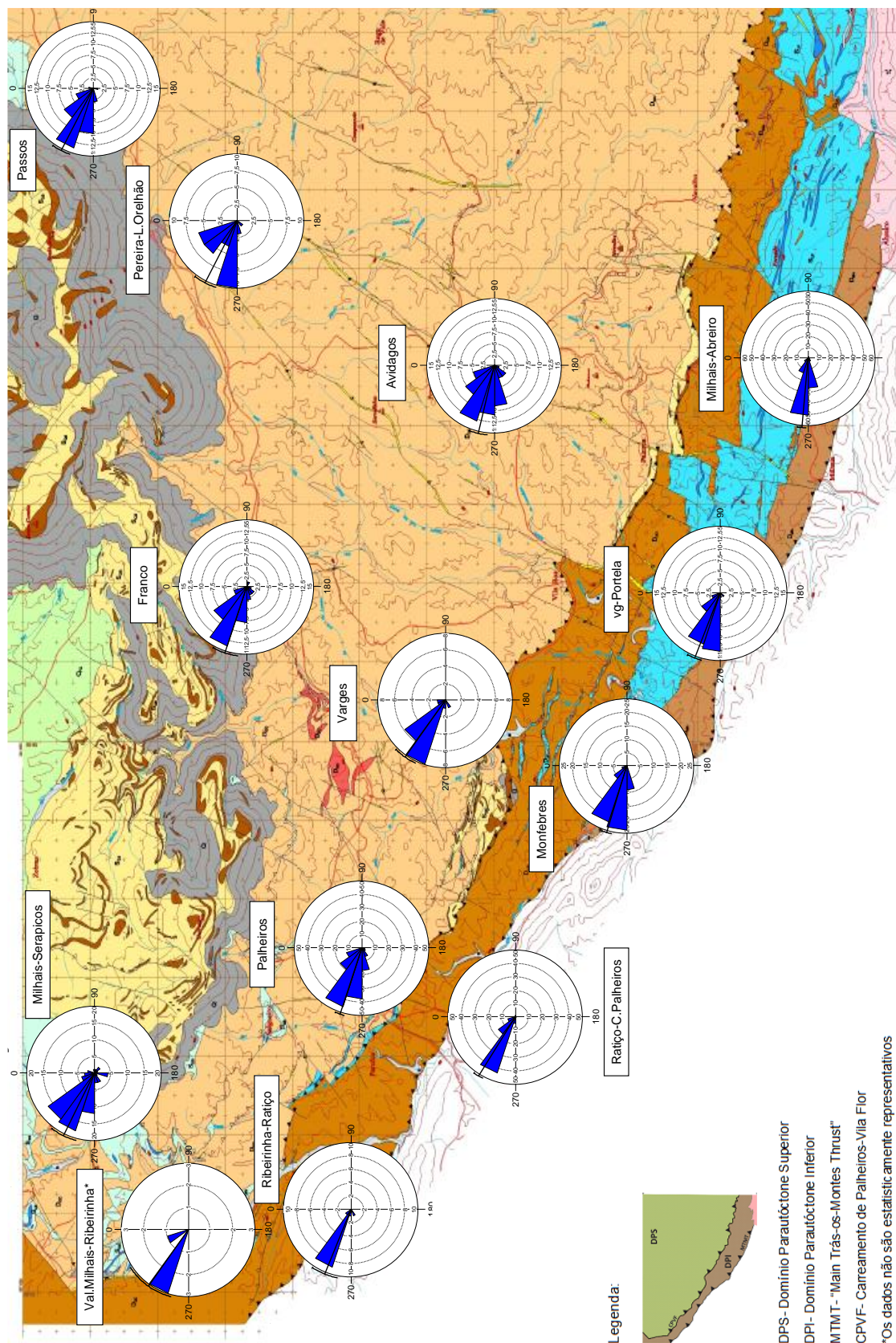


e <sub>3</sub>		Nº Observações	Vetor médio(°)	Comprimento Vetor Médio	Mediana(°)	Concentração	Variância Circular	Desvio Padrão Circular(°)	Intervalo de Confiança(°)			
									95% (-)	95% (+)	99% (-)	99% (+)
Avidagos	Direção	19	309,015	0,47	309	1,1	0,53	70,646	272,3	345,7	260,8	357,2
	Inclinação	19	12,162	0,99	12	35,0	0,01	9,75	7,8	16,5	6,4	17,9
Franco	Direção	35	310,924	0,37	314	0,8	0,63	81,233	275,5	346,3	264,4	357,4
	Inclinação	35	7,678	0,99	4	40,1	0,01	9,106	4,7	10,7	3,7	11,6
Milhais-Abreiro	Direção	*										
	Inclinação	*										
Milhais-Serapicos	Direção	28	309,423	0,42	303	0,9	0,58	75,023	275,8	343,1	265,2	353,7
	Inclinação	28	11,478	0,99	10	69,1	0,01	6,92	8,9	14,0	8,1	14,8
Montebres	Direção	*										
	Inclinação	*										
Palheiros	Direção	41	308,353	0,65	310	1,7	0,35	53,208	291,8	324,9	286,6	330,1
	Inclinação	41	12,217	0,99	12	46,9	0,01	8,41	9,6	14,8	8,8	15,6
Passos	Direção	37	304,095	0,51	303	1,2	0,49	66,365	280,4	327,8	272,9	335,3
	Inclinação	37	7,012	0,99	5	83,1	0,01	6,305	5,0	9,0	4,3	9,7
Pereira-Lamas de Orelhão	Direção	*										
	Inclinação	*										
Ratiço-Castro de Palheiros	Direção	*										
	Inclinação	*										
Ribeirinha-Ratiço	Direção	*										
	Inclinação	*										
Valongo de Milhais-Ribeirinha	Direção	*										
	Inclinação	*										
Vargues	Direção	*										
	Inclinação	*										
vg-Portela	Direção	*										
	Inclinação	*										

\* Os dados não são estatisticamente representativos (insuficiência de dados)

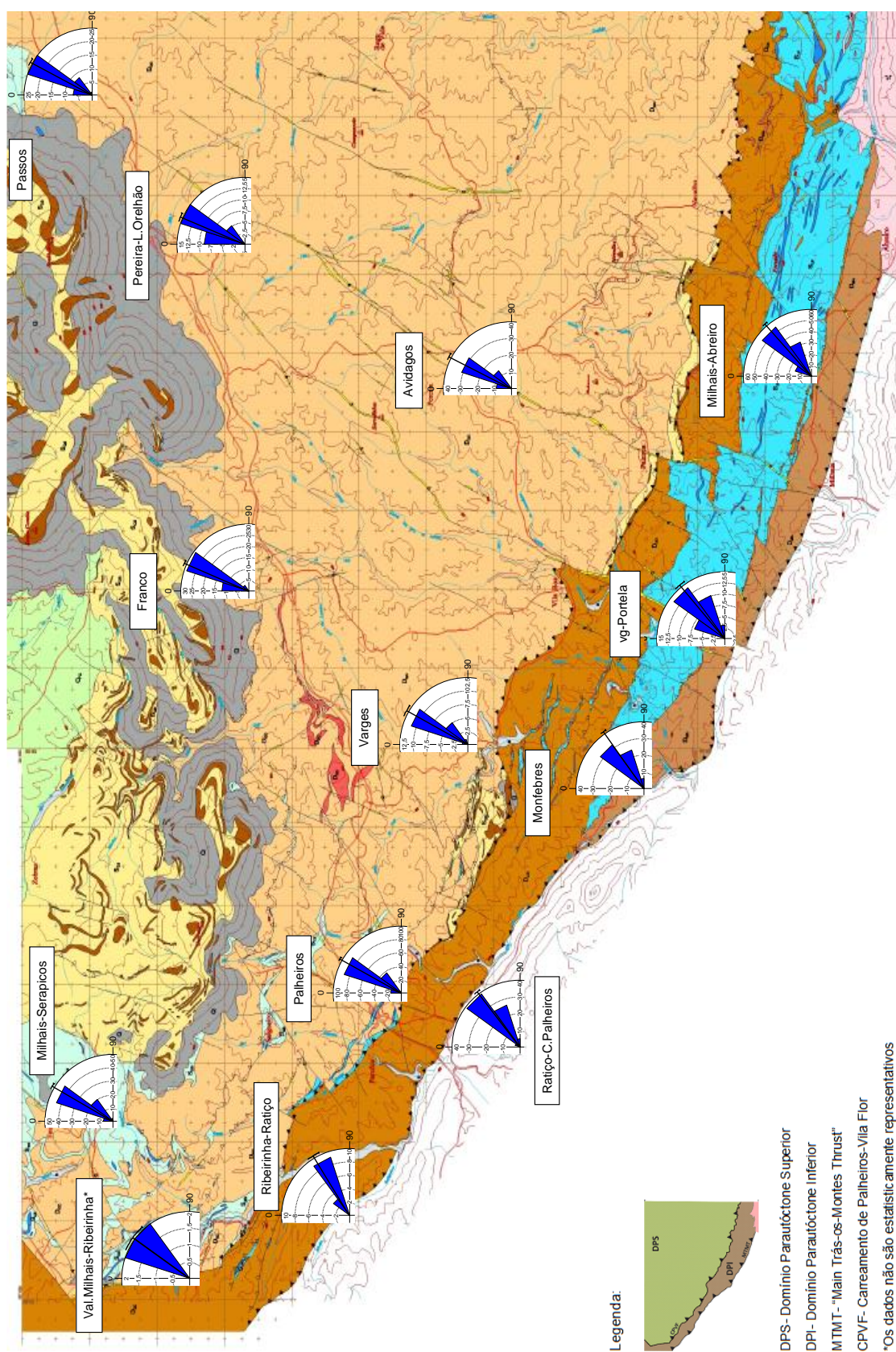
**Anexo 4:** Estatísticos básicos do eixo de dobra de 3ª fase (e<sub>3</sub>).

## Representações gráficas das variáveis direção e inclinação da 1ª e 3ª fase de deformação varisca



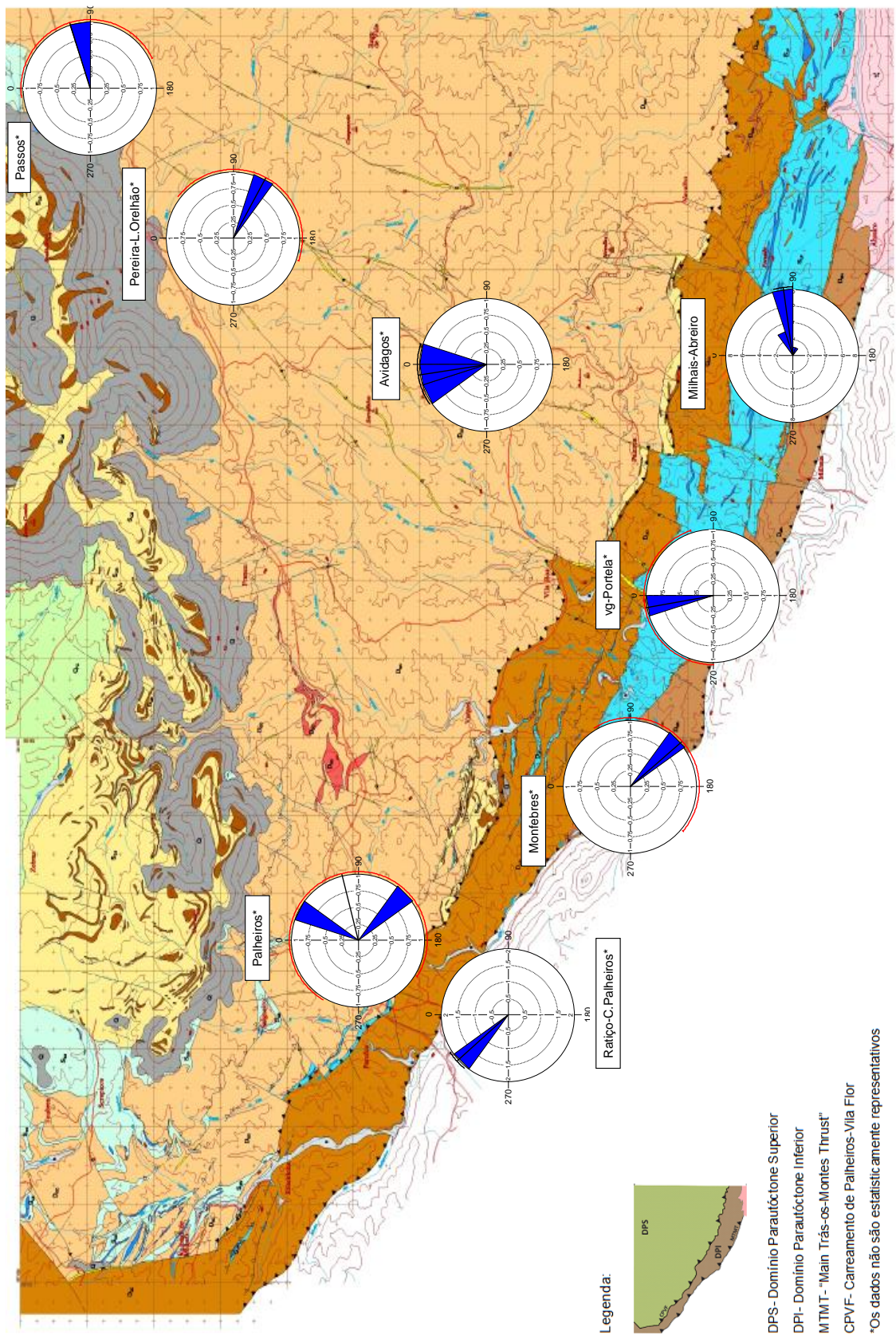
**Anexo 5:** Representação gráfica da variável direção de  $S_1$  em todos os setores.





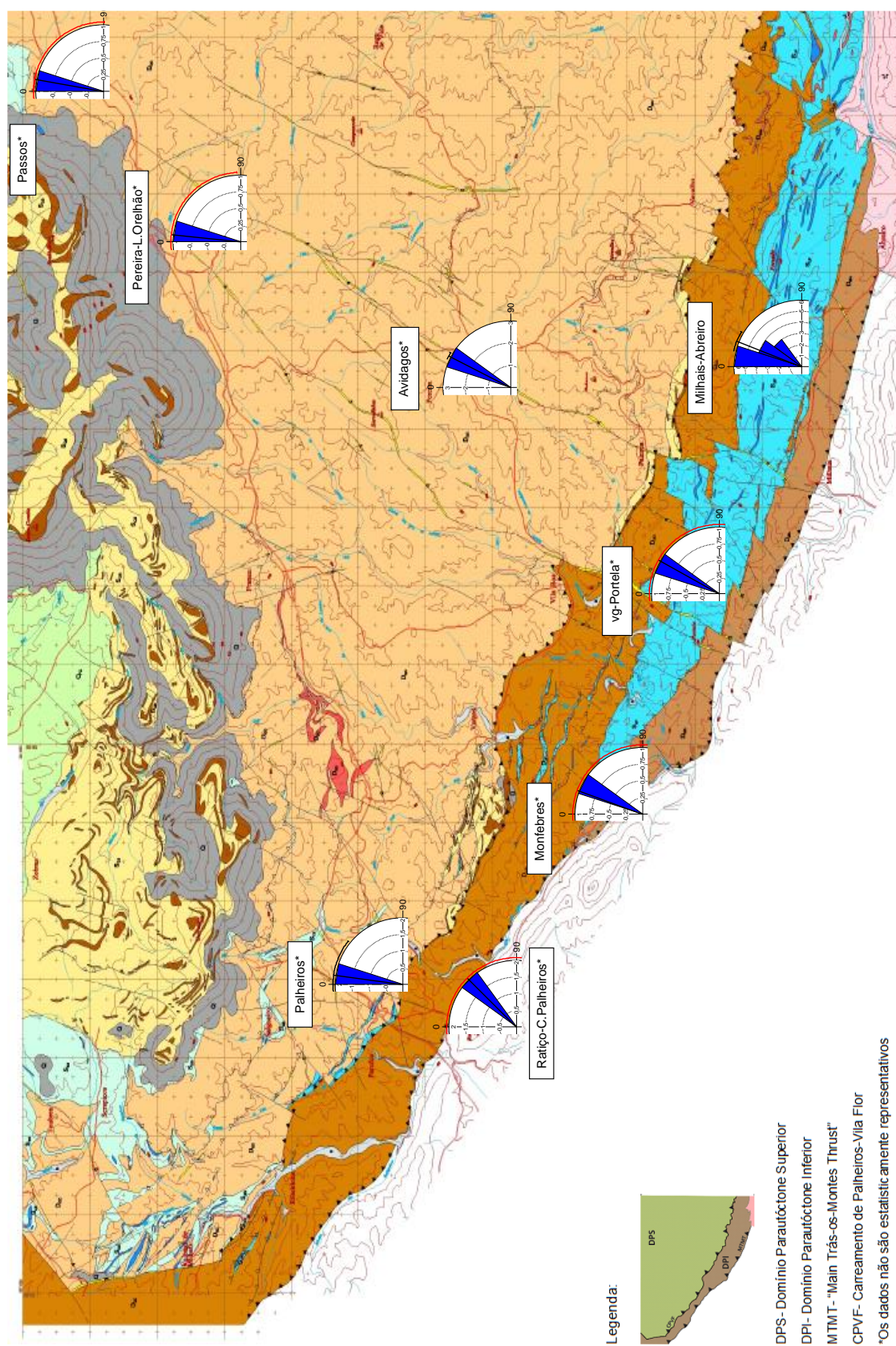
**Anexo 6:** Representação gráfica da variável inclinação de  $S_1$  em todos os setores.





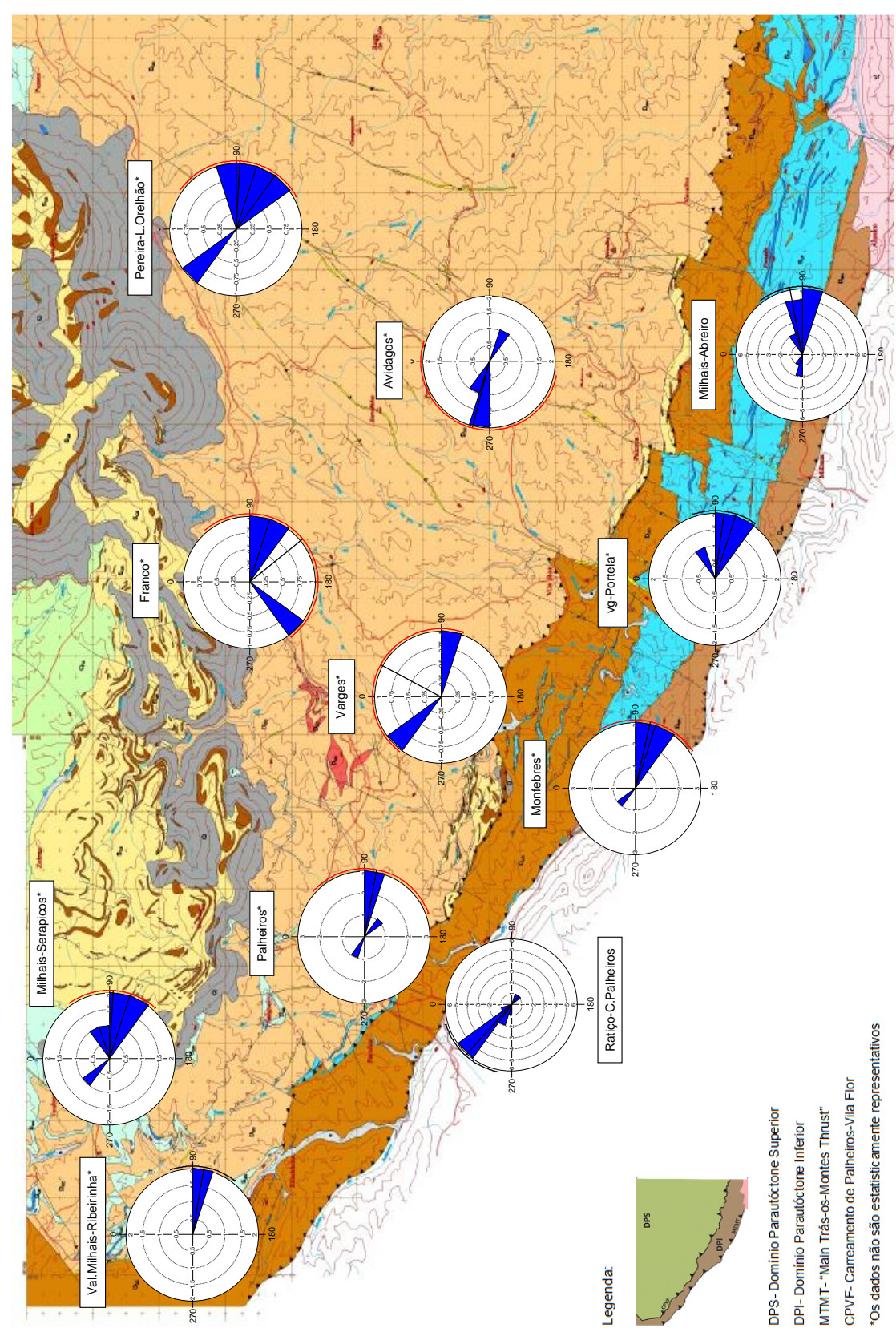
Anexo 7: Representação gráfica da variável direção de  $li_1$  em todos os setores.





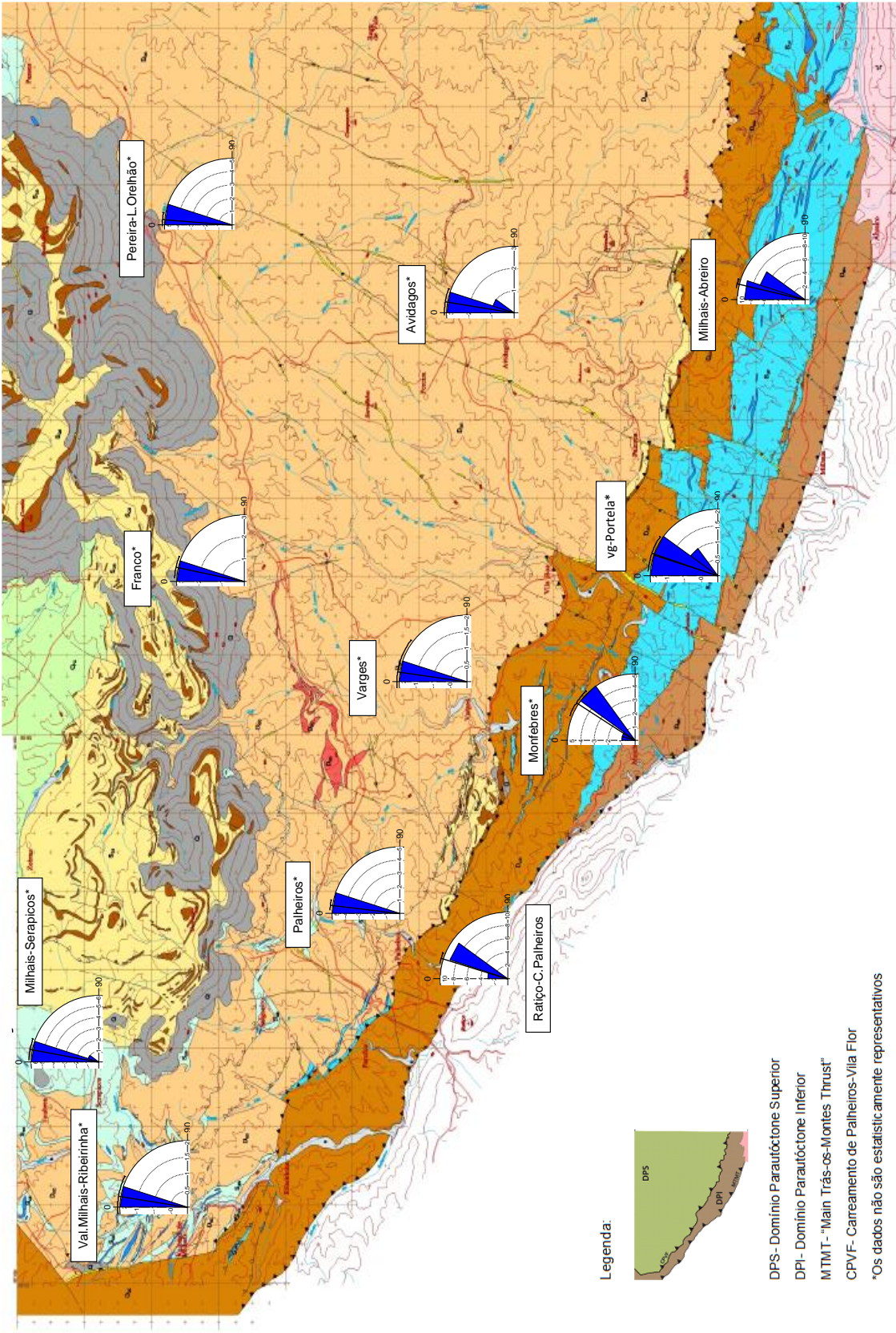
**Anexo 8:** Representação gráfica da variável inclinação de  $li_1$  em todos os setores.





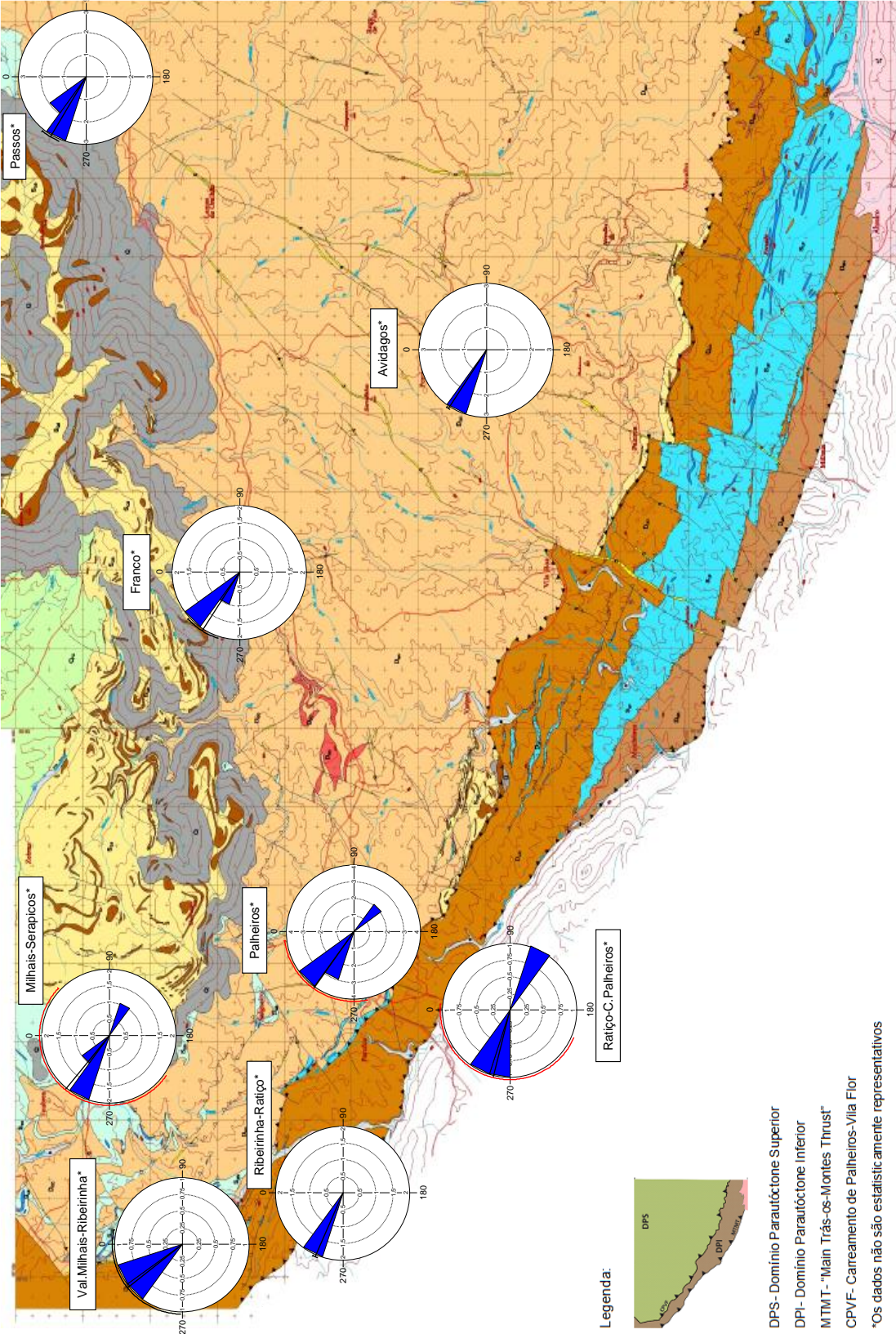
Anexo 9: Representação gráfica da variável direção de  $x_1$  em todos os setores.





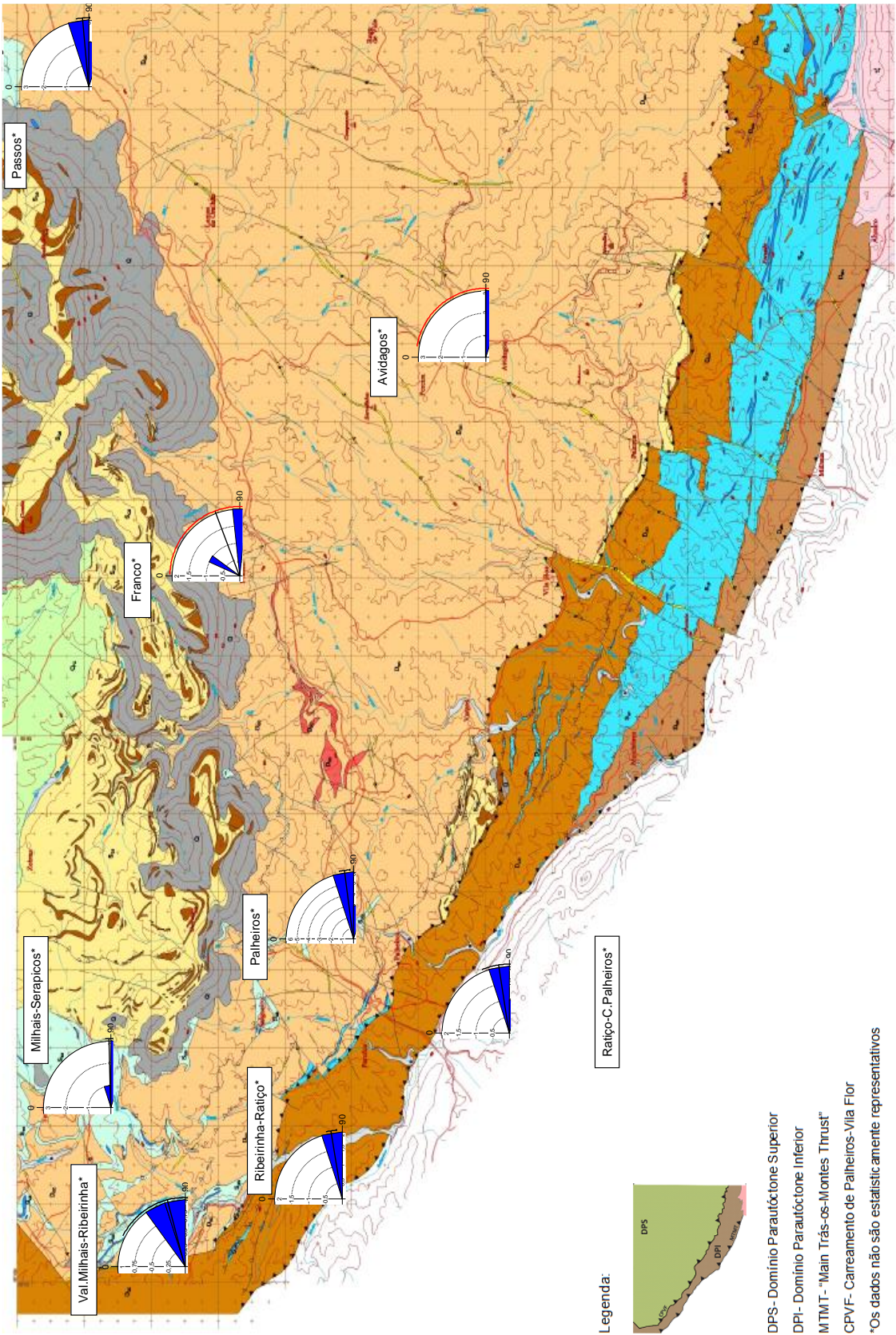
Anexo 10: Representação gráfica da variável inclinação de  $x_1$  em todos os setores.





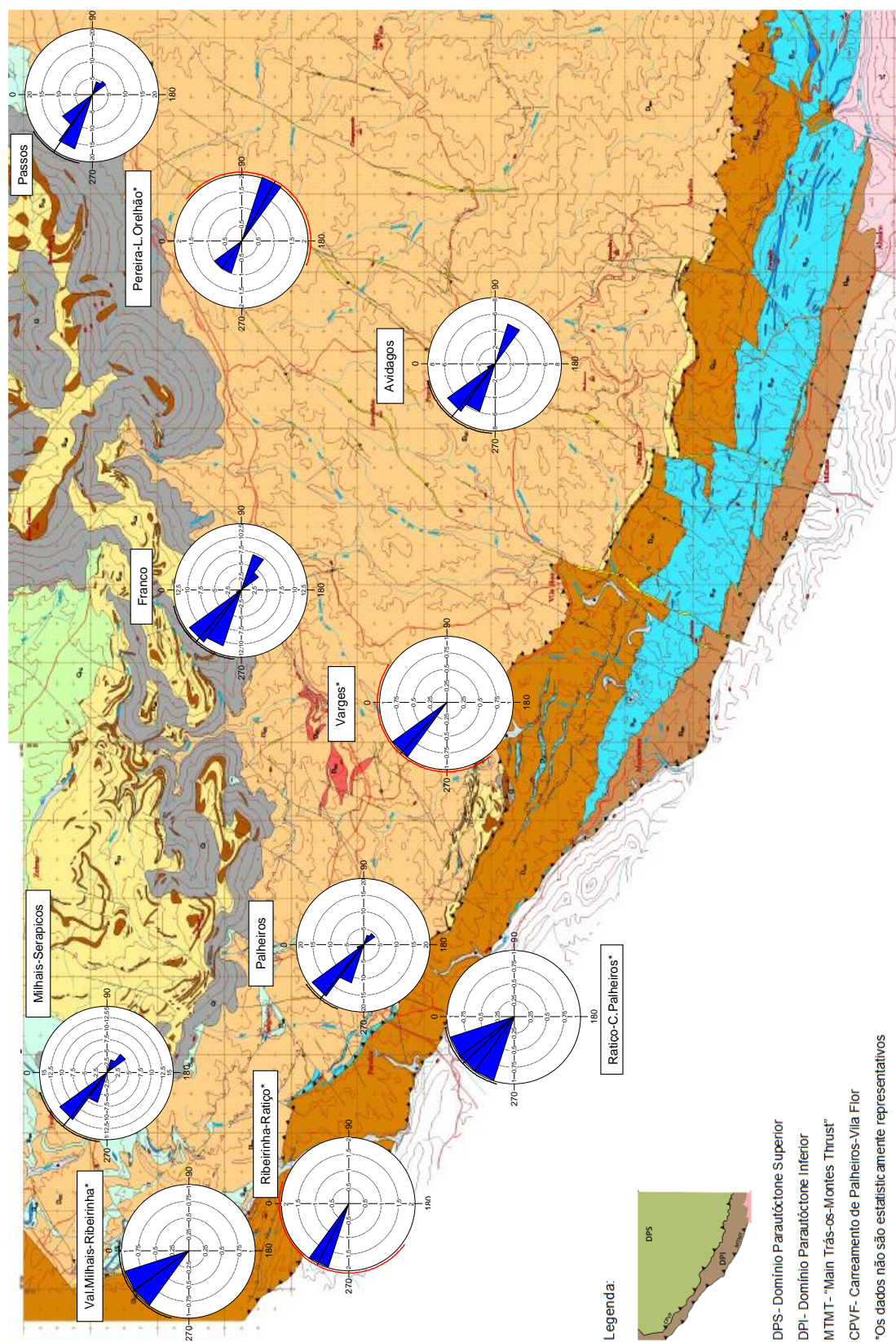
Anexo 11: Representação gráfica da variável direção de S<sub>3</sub> em todos os setores.





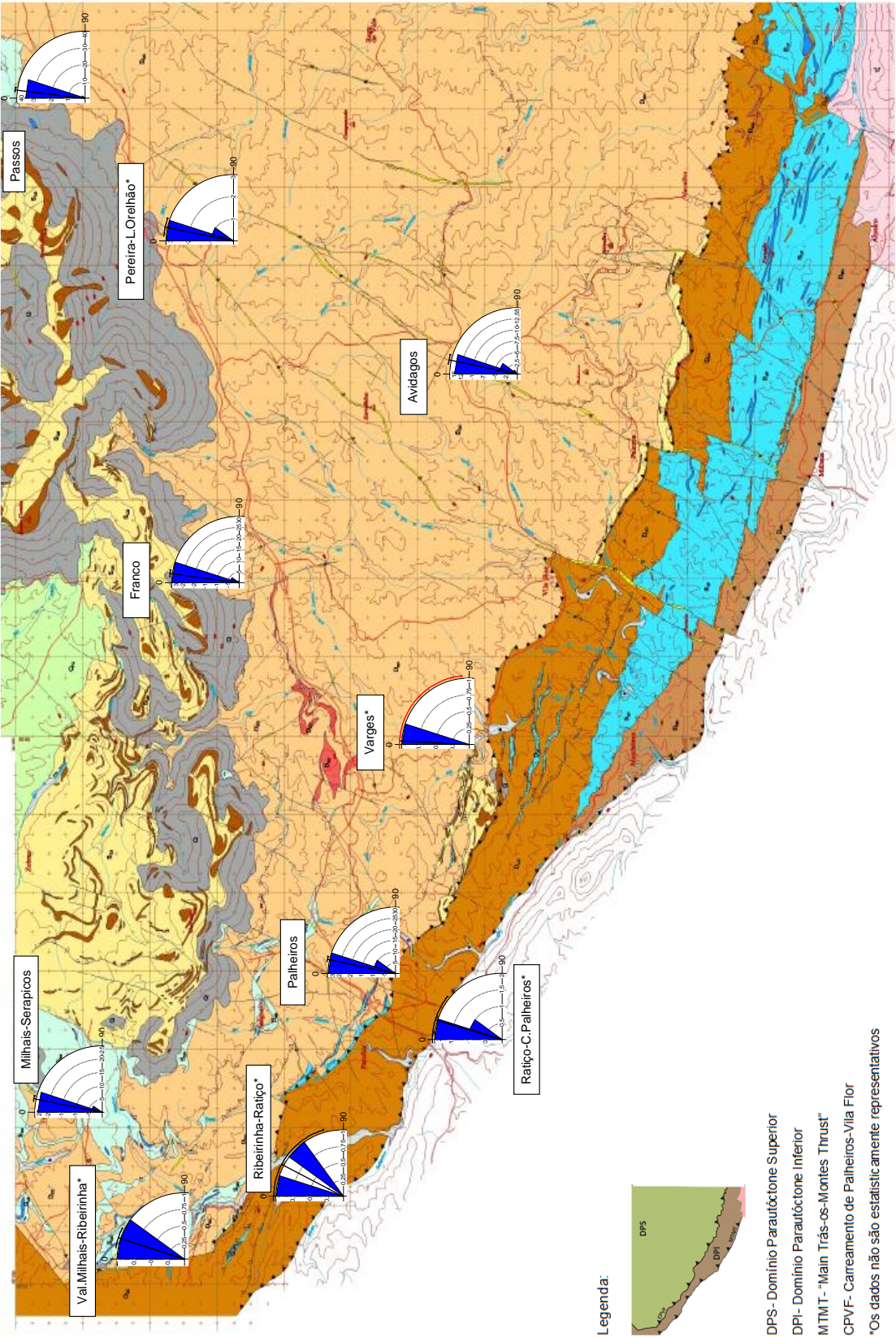
Anexo 12: Representação gráfica da variável inclinação de  $S_3$  em todos os setores.





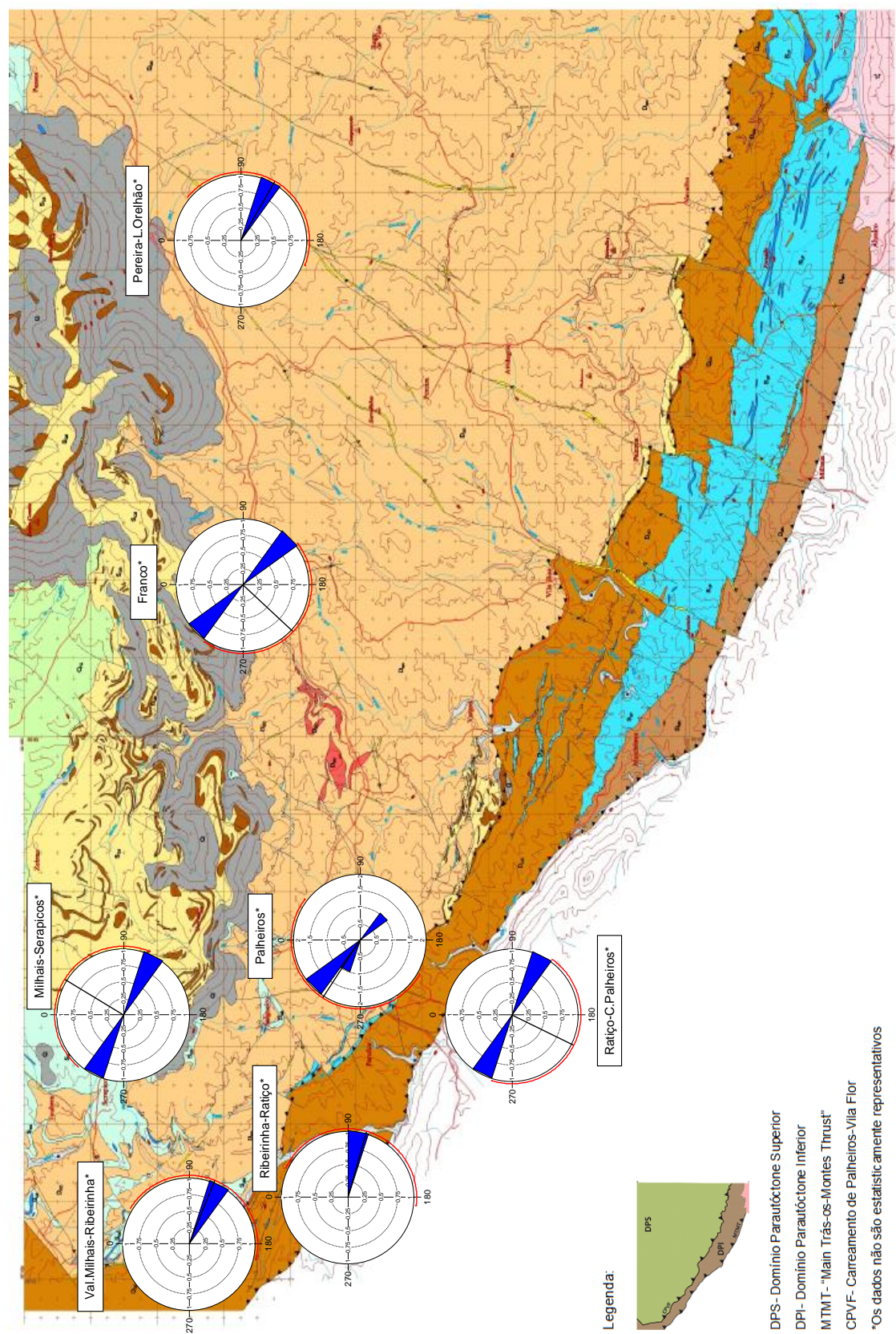
**Anexo 13:** Representação gráfica da variável direção de  $e_3$  em todos os setores.





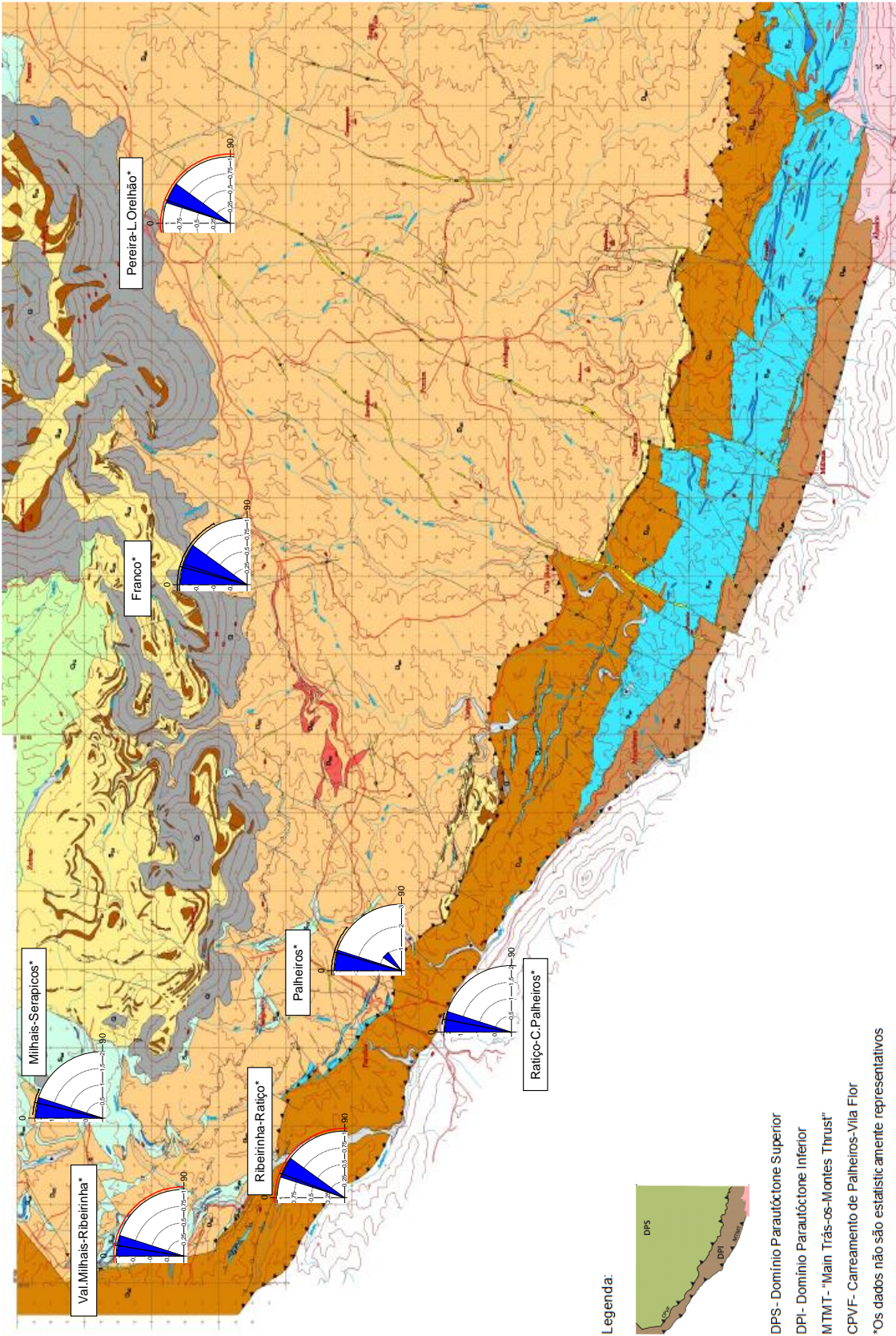
Anexo 14: Representação gráfica da variável inclinação de  $e_3$  em todos os setores.





Anexo 15: Representação gráfica da variável direção de  $li_3$  em todos os setores.





Anexo 16: Representação gráfica da variável inclinação de  $li_3$  em todos os setores.

## Resultados dos testes de ajustamento da 2ª fase de deformação varisca

S <sub>2</sub>		Teste Rayleigh (Z)		Teste Espaçamento Rao (U)		Teste Watson U2 (von Mises, U2)		Teste Kuiper (von Mises, V)		Teste V (V); média exp 0,05°		Coeficiente Circ-Circ (r)		(p)
		(Z)	(p)	(U)	(p)	(von Mises, U2)	(p)	(von Mises, V)	(p)	(V); média exp 0,05°	(u)	(r)	(p)	
Avidagos	Direção	146,2	< 1E-12	261,8	< 0,01	0,1	< 0,05	1,5	0,15 > p > 0,10	0,0	0,7	0,3		
	Inclinação	173,7	< 1E-12	316,9	< 0,01	0,1	0,1 > p > 0,05	1,7	0,10 > p > 0,05	0,9	16,7	< 1E-12	-0,2	< 0,05
Franco	Direção	77,1	< 1E-12	227,6	< 0,01	0,1	0,5 > p > 0,25	1,3	> 0,15	0,3	4,3	0,0		
	Inclinação	125,6	< 1E-12	308,4	< 0,01	0,1	< 0,05	1,8	< 0,05	0,9	14,6	< 1E-12	-0,2	< 0,05
Milhais-Abreiro	Direção	87,6	< 1E-12	279,6	< 0,01	0,6	< 0,005	2,8	< 0,01	0,1	1,1	0,1		
	Inclinação	93,5	< 1E-12	299,6	< 0,01	0,1	0,5 > p > 0,25	1,2	> 0,15	0,7	9,9	< 1E-12	0,0	ns
Milhais-Serapicos	Direção	34,7	< 1E-12	195,8	< 0,01	0,2	< 0,005	1,7	0,10 > p > 0,05	0,4	5,3	0,0		
	Inclinação	77,9	< 1E-12	284,1	< 0,01	0,3	< 0,005	2,3	< 0,01	0,8	10,2	< 1E-12	0,0	< 0,05
Montefres	Direção	22,5	6,73E-10	273,0	< 0,01	0,3	< 0,005	1,8	< 0,05	0,3	2,1	0,0		
	Inclinação	26,3	3,70E-11	310,7	< 0,01	0,1	0,25 > p > 0,15	1,2	> 0,15	0,6	4,2	0,0	-0,4	< 0,05
Palheiros	Direção	59,0	< 1E-12	243,5	< 0,01	0,1	0,1 > p > 0,05	1,4	> 0,15	0,2	1,9	0,0		
	Inclinação	71,6	< 1E-12	309,1	< 0,01	0,0	> 0,5	1,0	> 0,15	0,8	10,2	< 1E-12	0,2	< 0,05
Passos	Direção	66,3	< 1E-12	230,7	< 0,01	0,2	< 0,01	1,8	< 0,05	0,0	0,6	0,3		
	Inclinação	102,3	< 1E-12	316,1	< 0,01	0,1	< 0,025	2,2	< 0,01	0,9	12,9	< 1E-12	-0,2	< 0,05
Pereira-Lamas de Orelhão	Direção	24,9	2,69E-11	213,1	< 0,01	0,1	0,15 > p > 0,1	1,3	> 0,15	0,5	5,3	0,0		
	Inclinação	45,8	< 1E-12	307,0	< 0,01	0,1	0,25 > p > 0,15	1,6	0,15 > p > 0,10	0,9	8,7	< 1E-12	-0,2	< 0,05
Ratiço-Castro de Palheiros	Direção	15,5	1,77E-07	261,0	< 0,01	0,1	0,5 > p > 0,25	1,2	> 0,15	0,5	3,1	0,0		
	Inclinação	17,6	5,62E-08	303,0	< 0,01	0,1	0,5 > p > 0,25	1,2	> 0,15	0,5	3,2	0,0	0,2	< 0,05
Ribeirinha-Ratiço	Direção	20,1	6,36E-09	272,6	< 0,01	0,0	> 0,5	1,1	> 0,15	0,5	3,1	0,0		
	Inclinação	21,2	2,91E-09	297,3	< 0,01	0,0	> 0,5	0,8	> 0,15	0,5	3,1	0,0	-0,1	< 0,05
Valongo de Milhais-Ribeirinha	Direção	18,2	5,12E-09	236,4	< 0,01	0,5	< 0,005	2,6	< 0,01	0,4	3,9	0,0		
	Inclinação	36,1	< 1E-12	289,5	< 0,01	0,1	0,25 > p > 0,15	1,3	> 0,15	0,4	3,8	0,0	-0,1	< 0,05
Vargues	Direção	56,6	< 1E-12	268,1	< 0,01	0,1	0,1 > p > 0,05	1,3	> 0,15	0,3	3,1	0,0		
	Inclinação	64,4	< 1E-12	302,5	< 0,01	0,1	0,25 > p > 0,15	1,3	> 0,15	0,9	10,0	< 1E-12	0,0	< 0,05
vg-Portela	Direção	80,9	< 1E-12	295,5	< 0,01	0,1	0,5 > p > 0,25	1,4	> 0,15	0,3	3,4	0,0		
	Inclinação	82,3	< 1E-12	306,3	< 0,01	0,1	0,25 > p > 0,15	1,5	> 0,15	0,7	9,0	< 1E-12	0,1	< 0,05

Anexo 17: Tabela com os resultados dos testes de ajustamento aos dados de S<sub>2</sub>.

e2		Teste Rayleigh		Teste Espaçamento Rao		Teste Watson U2		Teste Kuiper		Teste V			Coeficiente Circ-Circ	
		(Z)	(p)	(U)	(p)	(von Mises, U2)	(p)	(von Mises, V)	(p)	(V); média exp 0,05°	(u)	(p)	(r)	(p)
Avidagos	Direção	26,1	4,40E-12	193,0	< 0,01	0,1	< 0,05	1,3	> 0,15	0,6	6,9	0,0		
	Inclinação	58,6	< 1E-12	316,0	< 0,01	0,1	0,1 > p > 0,05	1,7	0,10 > p > 0,05	1,0	10,4	< 1E-12	0,2	< 0,05
Franco	Direção	4,8	5,00E-03	189,5	< 0,05	0,1	0,15 > p > 0,1	1,3	> 0,15	0,6	3,0	0,0		
	Inclinação	10,7	4,00E-07	294,3	< 0,01	0,2	< 0,025	1,7	0,10 > p > 0,05	1,0	4,5	0,0	-0,4	< 0,05
Milhais-Abreiro	Direção	4,6	1,00E-02	176,7	< 0,01	0,2	< 0,005	1,8	< 0,05	0,3	2,5	0,0		
	Inclinação	37,3	< 1E-12	301,5	< 0,01	0,1	< 0,05	1,5	> 0,15	0,9	8,2	< 1E-12	-0,1	< 0,05
Milhais-Serapicos	Direção	7,6	3,61E-04	170,0	< 0,01	0,1	< 0,05	1,2	> 0,15	0,3	2,6	0,0		
	Inclinação	40,4	< 1E-12	311,4	< 0,01	0,2	< 0,005	2,1	< 0,01	1,0	8,8	< 1E-12	0,0	< 0,05
Montebres*														
Palheiros	Direção	12,2	1,46E-06	171,0	< 0,01	0,0	> 0,5	0,8	> 0,15	0,6	4,8	0,0		
	Inclinação	29,5	2,11E-12	319,0	< 0,01	0,1	< 0,025	1,8	< 0,05	1,0	7,4	< 1E-12	-0,1	< 0,05
Passos	Direção	16,7	3,03E-08	221,3	< 0,01	0,1	< 0,05	1,4	> 0,15	0,7	4,9	0,0		
	Inclinação	26,4	3,30E-11	309,7	< 0,01	0,1	0,5 > p > 0,25	1,3	> 0,15	1,0	7,1	0,0	0,2	< 0,05
Pereira-Lamas de Orelhão	Direção	6,4	8,85E-04	184,1	< 0,01	0,0	0,5 > p > 0,25	1,0	> 0,15	0,7	3,5	0,0		
	Inclinação	13,8	7,90E-07	312,3	< 0,01	0,1	0,25 > p > 0,15	1,4	> 0,15	1,0	5,2	0,0	0,4	< 0,05
Ratiço-Castro de Palheiros*														
Ribeirinha-Ratiço*														
Valongo de Milhais-Ribeirinha*														
Vargos	Direção	4,4	1,00E-02	147,2	0,50 > p > 0,10	0,0	0,5 > p > 0,25	1,2	> 0,15	0,5	2,5	0,0		
	Inclinação	11,7	1,22E-06	266,6	< 0,01	0,2	< 0,005	1,9	< 0,05	0,8	4,3	0,0	-0,4	< 0,05
vg-Portela	Direção	3,2	3,50E-02	184,0	< 0,05	0,1	0,1 > p > 0,05	1,2	> 0,15	0,4	1,9	0,0		
	Inclinação	11,7	1,64E-06	298,0	< 0,01	0,0	> 0,5	0,9	> 0,15	0,9	4,5	0,0	-0,2	< 0,05

\* Os dados não são estatisticamente representativos (insuficiência de dados)

Anexo 18: Tabela com os resultados dos testes de ajustamento aos dados de e2.



Iz		Teste Rayleigh		Teste Espaço Rao		Teste Watson U2		Teste Kuiper		Teste V			Coeficiente Circ-Circ	
		(Z)	(p)	(U)	(p)	(von Mises, U2)	(p)	(von Mises, V)	(p)	(V); média exp 0.05°	(u)	(p)	(r)	(p)
Avidagos	Direção	37,0	< 1E-12	209,1	< 0,01	0,1	< 0,025	1,3	> 0,15	0,7	8,2	< 1E-12		
	Inclinação	63,3	< 1E-12	317,4	< 0,01	0,1	0,15 > p > 0,1	1,3	> 0,15	0,9	10,8	< 1E-12	0,1	< 0,05
Franco	Direção	8,9	3,52E-05	190,5	< 0,01	0,0	0,5 > p > 0,25	1,0	> 0,15	0,7	4,2	0,0		
	Inclinação	16,4	1,35E-07	294,8	< 0,01	0,1	< 0,05	1,6	0,15 > p > 0,10	1,0	5,6	0,0	0,2	< 0,05
Milhais-Abreiro	Direção	1,9	0,145	198,5	< 0,01	0,1	< 0,005	1,7	0,10 > p > 0,05	0,2	1,0	0,2		
	Inclinação	10,8	8,16E-07	299,3	< 0,01	0,0	> 0,5	1,0	> 0,15	0,9	4,3	0,0	-0,4	< 0,05
Milhais-Serapicos*														
Monfebres*														
Palheiros*														
Passos	Direção	30,5	< 1E-12	274,3	< 0,01	0,0	> 0,5	1,1	> 0,15	1,0	7,8	< 1E-12		
	Inclinação	32,5	< 1E-12	319,1	< 0,01	0,1	< 0,05	1,6	0,15 > p > 0,10	0,9	7,7	< 1E-12	-0,5	< 0,05
Pereira-Lamas de Orelhão	Direção	6,1	2E-03	166,3	< 0,05	0,0	0,5 > p > 0,25	1,2	> 0,15	0,5	3,1	0,0		
	Inclinação	18,6	2,55E-08	315,1	< 0,01	0,1	< 0,025	1,8	< 0,05	1,0	5,9	0,0	0,1	< 0,05
Ratiço-Castro de Palheiros*														
Ribeirinha-Ratiço*														
Valongo de Milhais-Ribeirinha*														
Varges*														
vg-Portela*														

\* Os dados não são estatisticamente representativos (insuficiência de dados)

**Anexo 19:** Tabela com os resultados dos testes de ajustamento aos dados de Iz.

X2		Teste Rayleigh		Teste Espaçamento Rao		Teste Watson U2		Teste Kuiper		Teste V			Coeficiente Circ-Circ	
		(Z)	(p)	(U)	(p)	(von Mises, U2)	(p)	(von Mises, V)	(p)	(V); média exp 0,05°	(u)	(p)	(r)	(p)
Avidagos	Direção	10,9	9,7E-06	244,2	< 0,01	0,7	< 0,005	3,3	< 0,01	0,3	3,0	0,0		
	Inclinação	45,0	< 1E-12	320,2	< 0,01	0,1	0,1 > p > 0,05	1,4	> 0,15	1,0	9,3	< 1E-12	-0,1	< 0,05
Franco	Direção	3,4	0,029	242,0	< 0,01	0,2	< 0,005	1,9	< 0,025	-0,3	-1,1	0,9		
	Inclinação	10,0	< 1E-12	314,0	< 0,01	0,2	< 0,01	1,8	< 0,05	1,0	4,5	0,0	-0,2	< 0,05
Milhais-Abreiro	Direção	1,6	0,199	228,0	< 0,01	0,3	< 0,005	2,0	< 0,025	0,1	0,8	0,2		
	Inclinação	17,0	7,9E-08	290,0	< 0,01	0,1	0,1 > p > 0,05	1,5	> 0,15	0,9	5,6	0,0	0,1	< 0,05
Milhais-Serapicos*														
Montebres*														
Palheiros*														
Passos*														
Pereira-Lamas de Orelhão*														
Ratiço-Castro de Palheiros*														
Ribeirinha-Ratiço*														
Valongo de Milhais-Ribeirinha*														
Varges*														
vg-Portela	Direção	3,4	0,032	208,0	< 0,01	0,1	< 0,005	1,5	> 0,15	0,2	1,1	0,1		
	Inclinação	19,3	1,4E-08	304,0	< 0,01	0,1	0,5 > p > 0,25	1,1	> 0,15	0,9	6,0	0,0	0,1	< 0,05

\* Os dados não são estatisticamente representativos (insuficiência de dados)

**Anexo 20:** Tabela com os resultados dos testes de ajustamento aos dados de x2.

## Resultados dos testes de ajustamento da 1ª e 3ª fase de deformação varisca

S <sub>1</sub>		Teste Rayleigh (Z)		Teste Espaço Rao (U)		Teste Watson U2 (von Mises, U2)		Teste Kuiper (von Mises, V)		Teste V (V): média exp 0,05°		Coeficiente Circ-Circ (r)	
		(p)	(Z)	(U)	(p)	(p)	(U2)	(p)	(V)	(u)	(p)	(r)	(p)
Avidagos	Direção	40,8	< 1E-12	239,8	< 0,01	0,0	> 0,5	0,9	> 0,15	2,1	0,0		
	Inclinação	51,4	< 1E-12	310,2	< 0,01	0,1	0,25 > p > 0,15	1,2	> 0,15	9,0	< 1E-12	0,0	< 0,05
Franco	Direção	28,7	1,55E-12	219,7	< 0,01	0,2	< 0,005	1,6	0,15 > p > 0,10	2,3	0,0		
	Inclinação	43,0	< 1E-12	315,6	< 0,01	0,0	> 0,5	1,1	> 0,15	8,5	< 1E-12	0,1	< 0,05
Milhais-Abreiro	Direção	90,8	< 1E-12	278,7	< 0,01	0,4	< 0,005	2,5	< 0,01	1,2	0,1		
	Inclinação	97,8	< 1E-12	305,4	< 0,01	0,0	> 0,5	0,9	> 0,15	9,3	< 1E-12	0,0	< 0,05
Milhais-Serapicos	Direção	34,2	< 1E-12	214,1	< 0,01	0,4	< 0,005	2,4	< 0,01	3,6	0,0		
	Inclinação	70,1	< 1E-12	300,3	< 0,01	0,1	0,5 > p > 0,25	1,2	> 0,15	10,2	< 1E-12	0,0	< 0,05
Montebres	Direção	58,0	< 1E-12	287,1	< 0,01	0,1	0,25 > p > 0,15	1,4	> 0,15	3,1	0,0		
	Inclinação	61,1	< 1E-12	310,9	< 0,01	0,2	< 0,005	1,7	0,10 > p > 0,05	6,4	0,0		
Palheiros	Direção	119,8	< 1E-12	257,7	< 0,01	0,1	0,15 > p > 0,1	1,3	> 0,15	4,9	0,0		
	Inclinação	140,4	< 1E-12	311,6	< 0,01	0,1	0,15 > p > 0,1	1,6	0,15 > p > 0,10	14,6	< 1E-12	0,1	< 0,05
Passos	Direção	33,5	< 1E-12	256,7	< 0,01	0,1	0,15 > p > 0,1	1,2	> 0,15	3,7	0,0		
	Inclinação	39,5	< 1E-12	303,2	< 0,01	0,0	> 0,5	1,1	> 0,15	7,8	< 1E-12	0,3	< 0,05
Pereira-Lamas de Orelhão	Direção	23,3	3,01E-10	264,2	< 0,01	0,1	0,1 > p > 0,05	1,4	> 0,15	3,1	0,0		
	Inclinação	28,1	6,93E-12	310,6	< 0,01	0,1	0,5 > p > 0,25	1,1	> 0,15	6,9	0,0		
Ratiço-Castro de Palheiros	Direção	65,8	< 1E-12	284,5	< 0,01	0,6	< 0,005	2,7	< 0,01	6,1	0,0		
	Inclinação	70,2	< 1E-12	308,1	< 0,01	0,1	< 0,05	1,7	0,10 > p > 0,05	7,3	< 1E-12	0,1	< 0,05
Ribeirinha-Ratiço	Direção	11,0	8,56E-07	254,0	< 0,01	0,2	< 0,01	1,9	< 0,025	1,8	0,0		
	Inclinação	11,8	1,66E-06	302,0	< 0,01	0,1	0,5 > p > 0,25	1,2	> 0,15	2,5	0,0	0,2	< 0,05
Valongo de Milhais-Ribeirinha*													
Varges	Direção	15,7	1,65E-7	258,0	< 0,01	0,1	0,15 > p > 0,1	1,3	> 0,15	3,2	0,0		
	Inclinação	17,3	6,56E-08	290,0	< 0,01	0,1	0,15 > p > 0,1	1,6	0,15 > p > 0,10	5,1	0,0	-0,2	< 0,05
vg-Portela	Direção	30,7	< 1E-12	280,8	< 0,01	0,0	> 0,5	1,1	> 0,15	2,8	0,0		
	Inclinação	32,0	< 1E-12	290,8	< 0,01	0,0	0,5 > p > 0,25	1,2	> 0,15	5,1	0,0	-0,2	< 0,05

\* Os dados não são estatisticamente representativos (insuficiência de dados)

Anexo 21: Tabela com os resultados dos testes de ajustamento aos dados de S<sub>1</sub>.

li1		Teste Rayleigh		Teste Espaçamento Rao		Teste Watson U2		Teste Kuiper		Teste V		Coeficiente Circ-Circ	
		(Z)	(p)	(U)	(p)	(von Mises, U2)	(p)	(von Mises, V)	(p)	(V); média exp 0,05°	(u)	(r)	(p)
Avidagos*													
Franco*													
Milhais-Abreiro	Direção	12,3	1,3E-06	279,3	< 0,01	0,1	0,5 > p > 0,25	1,2	> 0,15	0,1	0,7	0,2	
	Inclinação	12,3	1,3E-06	290,3	< 0,01	0,1	0,5 > p > 0,25	1,1	> 0,15	0,9	4,6	0,0	< 0,05
Milhais-Serapicos*													
Montebres*													
Palheiros*													
Passos*													
Pereira-Lamas de Orelhão*													
Ratiço-Castro de Palheiros*													
Ribeirinha-Ratiço*													
Valongo de Milhais-Ribeirinha*													
Varges*													
vg-Portela*													

\* Os dados não são estatisticamente representativos (insuficiência de dados)

**Anexo 22:** Tabela com os resultados dos testes de ajustamento aos dados de li1.

X1		Teste Rayleigh (Z)	Teste Rayleigh (p)	Teste Espaçamento Rao		Teste Watson U2		Teste Kuiper (von Mises, V)		Teste V (V); média exp 0,05°		Coeficiente Circ-Circ	
				(U)	(p)	(von Mises, U2)	(p)	(von Mises, V)	(p)	(V)	(u)	(r)	(p)
Avidagos*													
Franco*													
Milhais-Abreiro	Direção	6,3	0,001	262,0	< 0,01	0,3	< 0,005	2,2	< 0,01	0,1	0,7		
	Inclinação	15,7	2,32E-07	309,5	< 0,01	0,1	0,25 > p > 0,15	1,4	> 0,15	1,0	5,4	-0,3	< 0,05
Milhais-Serapicos*													
Montebres*													
Palheiros*													
Passos*													
Pereira-Lamas de Orelhão*													
Ratiço-Castro de Palheiros	Direção	5,2	4,00E-03	235,0	< 0,01	0,3	< 0,005	2,0	< 0,025	0,4	2,2		
	Inclinação	11,8	1,68E-06	302,0	< 0,01	0,1	< 0,025	1,8	< 0,05	0,9	4,6	-0,1	< 0,05
Ribeirinha-Ratiço*													
Valongo de Milhais-Ribeirinha*													
Varges*													
vg-Portela*													

\* Os dados não são estatisticamente representativos (insuficiência de dados)

**Anexo 23:** Tabela com os resultados dos testes de ajustamento aos dados de x<sub>1</sub>.



e3		Teste Rayleigh		Teste Espaçamento Rao		Teste Watson U2		Teste Kuiper		Teste V			Coeficiente Circ-Circ	
		(Z)	(p)	(U)	(p)	(von Mises, U2)	(p)	(von Mises, V)	(p)	(V); média exp 0,05°	(u)	(p)	(r)	(p)
Avidagos*														
	Direção	4,7	0,008	288,4	< 0,01	0,7	< 0,005	3,2	< 0,01	0,2	2,0	0,0		
Franco	Inclinação	34,1	< 1E-12	318,4	< 0,01	0,4	< 0,005	2,7	< 0,01	1,0	8,2	< 1E-12	0,1	< 0,05
Milhais-Abreiro*														
Milhais-Serapicos	Direção	5,0	0,006	285,3	< 0,01	0,6	< 0,005	3,0	< 0,01	0,3	2,0	0,0		
	Inclinação	27,6	1,2E-11	317,1	< 0,01	0,2	< 0,01	1,5	> 0,15	1,0	7,3	0,0	-0,2	< 0,05
Montefres*														
Palheiros	Direção	17,3	9,7E-09	274,4	< 0,01	0,9	< 0,005	3,5	< 0,01	0,4	3,6	0,0		
	Inclinação	40,1	< 1E-12	315,4	< 0,01	0,1	0,5 > p > 0,25	1,2	> 0,15	1,0	8,8	< 1E-12	0,0	< 0,05
Passos	Direção	9,7	3,5E-05	285,5	< 0,01	0,9	< 0,005	3,7	< 0,01	0,3	2,5	0,0		
	Inclinação	36,6	< 1E-12	322,3	< 0,01	0,2	< 0,01	2,0	< 0,025	1,0	8,5	< 1E-12	0,1	< 0,05
Pereira-Lamas de Orelhão*														
Ratiço-Castro de Palheiros*														
Ribeirinha-Ratiço*														
Valongo de Milhais-Ribeirinha*														
Varges*														
vg-Portela*														

\* Os dados não são estatisticamente representativos (insuficiência de dados)

**Anexo 24:** Tabela com os resultados dos testes de ajustamento aos dados de e3.

## Resposta aos testes de ajustamento da 1ª e 3ª fase de deformação varisca

S <sub>1</sub>		Teste Rayleigh (Z) (p)	Teste Espaçamento Rao (U) (p)	Teste Watson U2 (von Mises, U2) (p)	Teste Kuiper (von Mises, V) (p)	Teste V (V); média exp 0.05° (u) (p)	Coefficiente Circ-Circ (r) (p)
Avidagos	Direção	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	Fraco
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	
Franco	Direção	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	Fraco
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	
Milhais-Abreiro	Direção	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Fraco
Milhais-Serapicos	Direção	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Fraco
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	
Monfobres	Direção	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	Fraco
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	
Palheiros	Direção	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	Fraco
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	
Passos	Direção	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	Fraco
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	
Pereira-Lamas de Orelhão	Direção	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	Fraco
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	
Ratiço-Castro de Palheiros	Direção	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Fraco
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	
Ribeirinha-Ratiço	Direção	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Rejeito H0	Fraco
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	
Valongo de Milhais-Ribeirinha*							
Vargos	Direção	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	Fraco
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	
vg-Portela	Direção	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	Fraco
	Inclinação	Rejeito H0	Rejeito H0	Não Rejeito H0	Não Rejeito H0	Rejeito H0	

\* Os dados não são estatisticamente representativos (insuficiência de dados)

Anexo 25: Resposta aos testes de ajustamento para S<sub>1</sub>.

li1		Teste Rayleigh (Z)	(p)	Teste Espaçoamento Rao (U)	(p)	Teste Watson U2 (von Mises, U2)	(p)	Teste Kuiper (von Mises, V)	(p)	Teste V (V): média exp 0,05° (u)	(p)	Coefficiente Circ-Circ (r)	(p)
Avidagos*													
Franco*													
Milhais-Abreiro	Direção	Rejeito H0		Rejeito H0		Não Rejeito H0		Não Rejeito H0		Rejeito H0			
Milhais-Serapicos*	Inclinação	Rejeito H0		Rejeito H0		Não Rejeito H0		Não Rejeito H0		Rejeito H0			Razoável
Monfres*													
Palheiros*													
Passos*													
Pereira-Lamas de Orelhão*													
Ratiço-Castro de Palheiros*													
Ribeirinha-Ratiço*													
Valongo de Milhais-Ribeirinha*													
Varges*													
vg-Portela*													

\* Os dados não são estatisticamente representativos (insuficiência de dados)

**Anexo 26:** Resposta aos testes de ajustamento para li1.

X1		Teste Rayleigh (Z)	(p)	Teste Espaçamento Rao (U)	(p)	Teste Watson U2 (von Mises, U2)	(p)	Teste Kuiper (von Mises, V)	(p)	Teste V (V): média exp 0,05° (u)	(p)	Coefficiente Circ-Circ (r)	(p)
Avidagos*													
Franco*													
Milhais-Abreiro	Direção	Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Fraco	
	Inclinação	Rejeito H0		Rejeito H0		Não Rejeito H0		Não Rejeito H0		Rejeito H0			
Milhais-Serapicos*													
Monfres*													
Palheiros*													
Passos*													
Pereira-Lamas de Orelhão*													
Ratiço-Castro de Palheiros	Direção	Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Fraco	
	Inclinação	Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0			
Ribeirinha-Ratiço*													
Valongo de Milhais-Ribeirinha*													
Varges*													
vg-Portela*													

\* Os dados não são estatisticamente representativos (insuficiência de dados)

**Anexo 27:** Resposta aos testes de ajustamento para x1.



e3		Teste Rayleigh (Z)	(p)	Teste Espaçoamento Rao (U)	(p)	Teste Watson U2 (von Mises, U2)	(p)	Teste Kuiper (von Mises, V)	(p)	Teste V (V): média exp 0,05° (u)	(p)	Coefficiente Circ-Circ (r)	(p)
Avidagos*													
Franco	Direção	Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Fraco	
	Inclinação	Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0			
Milhais-Abreiro*													
Milhais-Serapicos	Direção	Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Fraco	
	Inclinação	Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Não Rejeito H0		Rejeito H0			
Monfres*													
Palheiros	Direção	Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Fraco	
	Inclinação	Rejeito H0		Rejeito H0		Não Rejeito H0		Não Rejeito H0		Rejeito H0			
Passos	Direção	Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Fraco	
	Inclinação	Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0		Rejeito H0			
Pereira-Lamas de Orelhão*													
Ratiço-Castro de Palheiros*													
Ribeirinha-Ratiço*													
Valongo de Milhais-Ribeirinha*													
Varges*													
vg-Portela*													

\* Os dados não são estatisticamente representativos (insuficiência de dados)

**Anexo 28:** Resposta aos testes de ajustamento para e3.